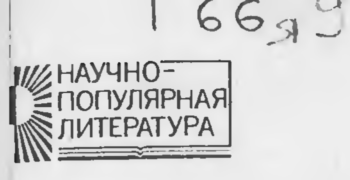


А. П. МЕРКИН

П. Р. ТАУБЕ

Непрочное чудо



Москва
«Химия» 1983

541
М523

УДК 541.182.45(023.11)

Меркин А. П., **Таубе П. Р.**
Непрочное чудо.– М.: Химия, 1983.– 224 с., ил.

Эта книга о пене. Пена помогает стирать и чистить, тушить пожары, очищать воду и воздух; ее используют при строительстве домов и космических кораблей, в металлургических, химических и других производствах; с нею имеют дело кондитеры, медики, спортсмены. Но вместе с тем с пенообразованием часто приходится бороться. Из этой книги читатель узнает многое из того, что сейчас известно о пене.

Книга рассчитана на широкий круг читателей – школьников и взрослых, желающих узнать как можно больше об окружающем мире и о том, как человек использует себе на благо достижения науки и техники.

224 с., 35 рис.

Рецензенты: докт. хим. наук В. Н. ИЗМАЙЛОВА,
канд. хим. наук А. В. ПЕРЦОВ.

М $\frac{1801000000\text{-}104}{050(01)\text{-}83}$ 104.83

СОДЕРЖАНИЕ

ВМЕСТО ПРЕДИСЛОВИЯ

Много написано о лазерах, о ракетах, о строении вещества. Но о таком повседневно наблюдаемом объекте, как пена, книг очень мало. За последние 60 лет на русском языке появилась всего одна монография с кратким названием: «Пены» (автор В. К. Тихомиров). Напомним, что в 1918 году была переведена с немецкого и издана на русском языке книга А. Манегольда «Пена», но эту книгу можно найти только в двух библиотеках страны. Возможно, она есть у библиофилов. Назовем еще одну переводную книгу, вышедшую у нас сравнительно недавно – Чарльз Бойс, «Мыльные пузыри (лекции о волосности и капиллярных явлениях)». Написана она почти сто лет тому назад.

Писать о пене сложно. Пена поистине вездесуща, ее роль в нашей жизни трудно переоценить, и чтобы в увлекательной и доступной для широкого круга читателей форме рассказать о том, что такое пена, об ее образовании, «жизни» и гибели, пришлось бы привести в книге множество самых разнообразных сведений. Теория растворов и структура поверхностно-активных веществ, хотя бы простейшая термодинамика и элементы гидравлики, физическая химия поверхностных явлений и строение тонких пленок – вот далеко не полный перечень областей науки, которые нужно привлечь для написания такой книги. И главное, в популярной, но вместе с тем в сжатой форме. Что же касается практических вопросов о пользе и вреде пены – им нет конца!

Не станем заверять читателя в исключительной оригинальности нашей книги, ограничимся утверждением, что она основана на достоверных фактах и личном опыте. Сразу признаемся: мы отказались от попытки «объять необъятное». Поэтому дополнений может быть множество. Все замечания и пожелания будут приняты

с благодарностью. Так обычно завершают предисловие. Но мы продолжим.

Слово «пена» нередко ассоциируется о чем-то несерьезным. Выдувание пенных пузырьков – не более чем детская забава, игра. Поэтому для совершенно неосведомленных и мало осведомленных читателей сразу дадим справку. Из 250 докладов и сообщений на VII Международном конгрессе по поверхностно-активным веществам (сентябрь 1976, Москва) более сорока было посвящено вопросам строения тонких мыльных пленок, свойствам пен и проблемам пеногашения.

Практически нет такой сферы человеческой деятельности, для которой эти вопросы не представляли бы первостепенной важности – от космической техники до очистки сточных вод. Упомянем здесь лишь, что одно только перечисление процессов получения материалов с использованием пен, а равным образом и случаев, когда с пенообразованием необходимо бороться, заняло бы многие страницы. Этим и объясняется исключительный интерес к теории и практике пен.

С пеной связано множество легенд. В мифах древних греков рассказывается, как из морской пены родилась богиня красоты и любви прекрасная Афродита (*пена* на древнегреческом – *афрос*).

Считается, что пена сыграла определенную роль в возникновении жизни на Земле (Джон Берналл, академик А. И. Опарин). В пене, на поверхности океана, под действием света и тепла, возникали и накапливались органические соединения, давшие начало простейшим формам живого вещества, живой материи.

Для некоторых живых существ пена и ныне дом родной. Рыбка, именуемая морским петушком, строит свой домик из пузырьков воздуха. С помощью вспененной жидкости прикрепляют икринки к растениям некоторые рыбки и рачки.



В повседневной жизни мы часто связываем с пеной представление о чем-то непрочном и недолговечном. «Лопнуло, как мыльный пузырь», – так говорят о деле слишком легкомысленном, осуществляемом на шаткой основе. Это образное сравнение немедленно возникает при одном упоминании слов «мыльный пузырь».

В этом нет ничего удивительного. Все мы в детстве увлекались доступным, безопасным и интересным занятием – пускали мыльные пузыри. Блюдечко с раствором мыла, соломинка или свернутый трубочкой кусок бумаги – вот и все, что нужно для получения прозрачных, переливающихся всеми цветами радуги шариков, медленно парящих в воздухе, перемещающихся от малейшего дуновения, вызванного взмахом руки.

Отдельный мыльный пузырек имеет форму шарика, а когда пузырьков много, они деформируют друг друга. На рисунке показаны не детали кольчуги рыцаря, а обыкновенная пена, увеличенная в 25 раз. Форма такой множественной пены – полиэдрическая. Эти пены и используют в технике. Такие пены могут быть очень прочными и не разрушаться десятилетиями.

Целые отрасли промышленности имеют в своей основе различного рода процессы, связанные с пенообразованием. С помощью пены ускоряют технологические операции и уменьшают расход топлива и энергии при производстве многих материалов, снижают вес изделий и конструкций, улучшают вкус продуктов питания, очищают жидкости и газы, стирают одежду, чистят помещения, машины. И многое, многое другое.

Однако в технике и в быту образование пены очень часто вызывает немало осложнений и забот. Она нарушает работу котлов высокого давления и магистральных трубопроводов для жидкостей, снижает эффективность работы сахарных и бумажно-целлюлозных заводов. Пена портит кинопленку и ухудшает качество окраски тканей, выводит из строя автоматику и снижает выход антибиотиков на заводах медпрепаратов. Один пузырек газа в аппарате искусственного кровообращения может стать причиной смерти больного на операционном столе.

И полезная, и вредная ... Такова диалектика.

Только точные научные знания о структуре и свойствах пены, способах регулирования ее основных характеристик позволяют создавать устойчивые пены для одних производств и применять эффективные меры для предотвращения пенообразования или для разрушения пены в других случаях.

Человек издавна наблюдает пену, исследует всесторонне, заставляя ее служить себе. Мыльные пленки изучали знаменитые люди – Ньютон, Кельвин, Лаплас, Гёте. И сейчас еще разгаданы далеко не все ее тайны. Известный советский ученый академик Петр Александрович Ребиндер, представляя советскому читателю книгу Ч. Бойса «Мыльные пузыри», писал около 10 лет назад в журнале «Химия и жизнь»: «Мыльный пузырь не исчерпал себя и по сей день». И сейчас – тоже. Свидетельство тому – сотни публикуемых ежегодно научных работ по теории пенообразования и пеногашения, а также все

новые и новые примеры использования пены в научных исследованиях, технике, сельском хозяйстве, быту.

НЕМНОГО НАУЧНЫХ СВЕДЕНИЙ О ПЕНАХ



ЧТО ТАКОЕ ПЕНА?

Начнем с определения. Пена – это одна из разновидностей дисперсий. Латинское слово *dispersus* означает *рассеянный*, *разбросанный*; диспергированием в технике называют процесс измельчения, дробления твердых, жидких или газообразных веществ. Мы не оговорились. Дробить, а точнее, рассеивать можно не только твердые и жидкие вещества, но и газообразные. Для этого газ, например воздух, нужно равномерно распределить в виде мелких пузырьков в жидкой или твердой среде (матрице).

В зависимости от того, какое вещество (в каком агрегатном состоянии) служит матрицей, а какое – диспергируется, дисперсии будут называться по-разному. Дисперсию жидкости в жидкости называют эмульсией, твердого вещества в жидкости – суспензией. *Дисперсию газа в жидкости называют пеной*, газа в твердом веществе – *твердой пеной*. Сам газ (воздух) тоже может быть матрицей. Дисперсия в нем жидкости называется туманом, а твердого вещества – пылью.

В дальнейшем мы и будем называть пеной систему, состоящую из газа (воздуха) и жидкости, разделяющей воздушные ячейки. Но не всякая система газ – жидкость может быть отнесена к пенам. Если газа в жидкости мало, то пузырьки находятся далеко друг от друга, они

имеют форму шара и свободно перемещаются в жидкости; это еще не пена. При большом содержании газа (свыше 80-90% по объему) пузырьки плотно прилегают друг к другу, деформируются и образуют подобную сотам структуру. Такая пена изображена на обложке.

Занимательные и поучительные опыты с мыльными пузырями были придуманы замечательным бельгийским ученым Ж. Плато; множество любопытнейших явлений, наблюдаемых при пускании мыльных пузырей, объяснил известный английский ученый и популяризатор науки Ч. Бойс.

Чарльз Бойс связывал образование мыльного пузырька с возникновением на его поверхности «растянутой упругой перепонки». Такая перепонка не может быть создана из чистой воды, так как вода абсолютно не упруга.

Зарождение в жидкости воздушного пузырька всегда приводит к увеличению ее поверхности. При этом в поверхностном слое разыгрываются сложные физические явления, объяснением которых занимались многие видные физикохимики.

Молекулы, находящиеся в поверхностном слое чистой воды, обладают особыми свойствами по сравнению с молекулами в объеме жидкости, поскольку силы межмолекулярного взаимодействия нескомпенсированы и у молекул этого слоя оказывается избыточный запас потенциальной энергии. Поэтому образование пены в чистой воде невозможно, так как это привело бы к резкому возрастанию избыточной потенциальной энергии.

В природе любая система стремится уменьшить запас потенциальной энергии, а любой самопроизвольно протекающий процесс направлен на снижение этого запаса. В результате газовый пузырек, зародившийся в воде, будет всплывать и разрушаться. Всплывать – вследствие резкого различия плотностей газовой и жидкой фаз, а разрушаться – под действием избыточной потенциальной энергии.

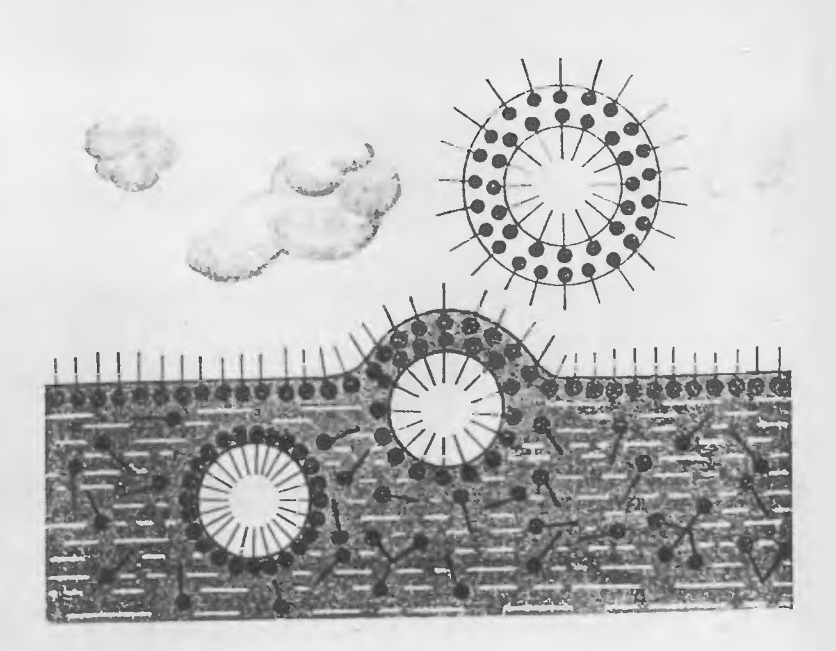
Простейший способ продлить жизнь пузырька – использовать более вязкую, менее текучую жидкость. И верно, пленка вязкой жидкости существует уже заметное время. Кстати, именно поэтому в мыльную воду добавляют глицерин – он увеличивает вязкость раствора. Из такого раствора пузырьки не могут всплыть и остаются в объеме жидкости.

Но тут возникает противоречие: ведь чем больше вязкость жидкости, тем более устойчивые пленки она образует, но из вязкой жидкости труднее эту пленку получить. Замечательно решают эту проблему стеклодувы. Они сначала размягчают стекло, нагревая его до высокой температуры, выдувают из него пузыри (вспомните форму обычной колбы или лампы – это просто пузырь!), а затем дают этим пузырям охладиться. При этом вязкость стекла резко (в сотни миллионов раз!) повышается и пузырь стабилизируется. Это один путь. А есть и другой, основанный на способности некоторых веществ избирательно адсорбироваться на границе раздела фаз. Эти вещества (их называют *поверхностно-активными*) используют как *пенообразователи* при приготовлении устойчивых пен. Пузырьки в такой пене разделены *упругими пленками.*

Когда мы растягиваем упругую пленку, то затрачиваем работу на изменение формы молекул и расстояний между ними. Потенциальная энергия поверхностного слоя при этом возрастает не столь значительно, и воздушные пузырьки в таких жидкостях могут существовать длительное время.

Единичный пузырек воздуха в жидкости имеет почти шарообразную форму, которую он сохраняет даже будучи изолированным после выхода из пенообразующего раствора.

Рассмотрим на примере одного элементарного пузырька, как образуется пена. Представим себе, что пузырек воздуха попал в раствор, содержащий пенообра-



Так формируется газовый пузырек.

зователь. На границе пузырька с жидкостью сразу начнут скапливаться молекулы пенообразователя, так что вскоре пузырек оденется своеобразной «шубой» этого вещества, состоящей из одного слоя молекул пенообразователя. Всплывая, пузырек достигает поверхности жидкости, давит на нее и растягивает. Молекулы пенообразователя из раствора устремляются к растущей поверхности, предотвращая разрыв пленки жидкости. Таким образом, при выходе из воды пузырек оказывается окруженным оболочкой уже из двух монослоев пенообразователя, между которыми находится пленка жидкости. Когда в раствор вовлекается много воздуха, образующиеся пузырьки, всплывая, создают на поверхности жидкости пенный слой, толщина которого увеличивается в процессе пере-

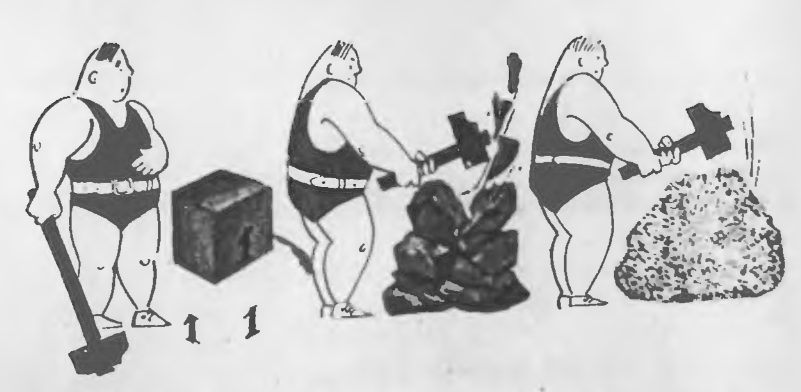
мешивания жидкости и газа. В конечном счете вся жидкая фаза превращается в пену.

Напомним: когда пленки между пузырьками (перегородки) еще достаточно толсты (содержат много жидкости), пузырьки сохраняют сферическую форму. По мере того как жидкость насыщается воздушными пузырьками, толщина перегородок уменьшается и форма пузырьков начинает постепенно изменяться из сферической в многогранную. В зависимости от формы газовых пузырьков Манегольд предложил разделять пены на два класса: *сферические* и *многогранные*.

Сферические пены отличаются высоким содержанием жидкости и в силу этого – малой устойчивостью. Поэтому их относят к метастабильным (условно стабильным). В нестабильных пенах наблюдается так называемый эффект Плато: жидкая фаза из перегородок удаляется, истекая под действием силы тяжести, и происходит быстрая *коалесценция* (от латинского *coalesco – срастаюсь, соединяюсь*) – слияние соприкасающихся газовых пузырьков.

Сущность явления коалесценции можно пояснить, используя простейшие понятия о взаимосвязи между поверхностью, поверхностной энергией и объемом.

Кубик любого твердого вещества с размерами $1 \times 1 \times 1$ см имеет поверхность 6 см^2. Путем дробления этот кубик можно превратить в мельчайшую пыль. Суммарный объем частиц будет по-прежнему 1 см^3, но суммарная поверхность частиц может составлять уже квадратные метры. Даже десятки и сотни квадратных метров! Очевидно, что поверхностная энергия при этом тоже увеличится (заметим, за счет совершенной работы дробления). Но общая тенденция всех процессов состоит в стремлении уменьшить запас свободной энергии. Мельчайшие частицы слипаются, мельчайшие капли и воздушные пузырьки стремятся слиться в более крупные. Чем крупнее капля или пузырек, тем меньше соотношение поверхность : объем и тем меньше запас свободной



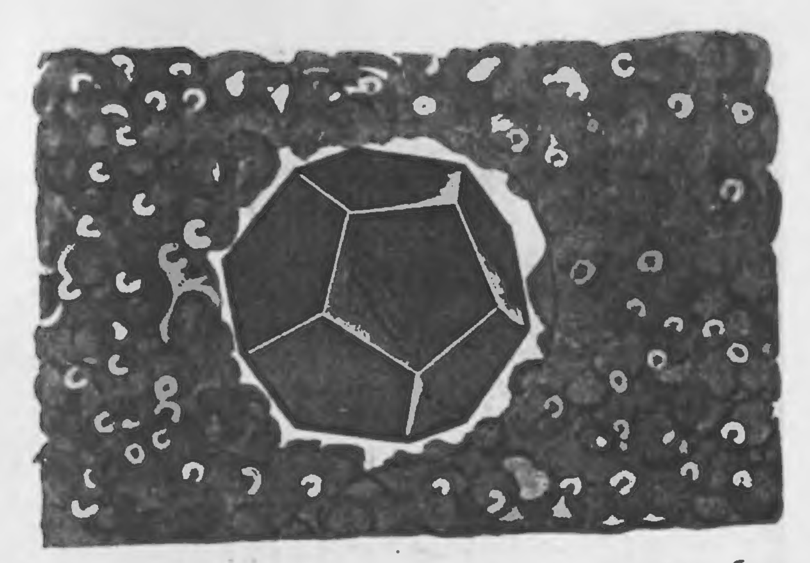
Растет удельная поверхность и, следовательно, растет поверхностная энергия твердого материала.

поверхностной энергии. Слияние нескольких пузырьков в один, более крупный, и называется *коалесценцией.* Крупный воздушный пузырь стремительно всплывает и лопается – пена разрушается.

Многогранные пены отличаются малым содержанием жидкой фазы и характеризуются высокой стабильностью. В таких пенах отдельные пузырьки сближены и разделены тонкими «растянутыми упругими перепонками». Эти пленки в силу упругости и ряда других факторов препятствуют коалесценции газовых пузырьков. По мере утончения разделительных пленок пузырьки все плотнее сближаются, прилегают друг к другу и приобретают четкую форму многогранников. Каждый пузырек в такой пене (если все пузырьки имеют одинаковый размер) обладает формой правильного пентагонального додекаэдра, т.е. двенадцатигранника, любая сторона которого представляет собой правильный пятиугольник. Эти многогранные пузырьки разделены тончайшими пленками жидкости, которые без внешнего импульса – механического воздействия или повышения температуры – могут сохраняться в течение длительного времени и противостоять излишнему истечению жидкой фазы.

Из сказанного очевидно, что пеной является не всякая дисперсная система типа газ – жидкость, а только *ячеисто-пленочная*, т.е. такая, в которой отдельные пузырьки связаны друг с другом разделяющими их пленками в общий каркас. В пене газовый пузырек не может свободно перемещаться ни в вертикальной, ни в горизонтальной плоскости. Он как бы «зажат» другими, прилегающими к нему пузырьками. Такая плотная упаковка достигается лишь при определенном соотношении объемов жидкой и газовой фаз. Это соотношение может быть найдено, если применить к пенам теорию упаковки шарообразных тел (в нашем случае – это газовые пузырьки). Для того чтобы образовалась сферическая пена, объем раствора пенообразователя нужно увеличить, насыщая его воздухом, в 3,8 раза по сравнению с первоначальным. Если воздуха в растворе содержится меньше, то такую систему уже нельзя отнести к пенам. При большем насыщении пены воздухом пузырьки теряют сферическую форму и превращаются в многогранники, а разделяющие их пленки приобретают одинаковую толщину во всем объеме пены. Получается пространственная конструкция, в разрезе похожая на не раз виденные нами пчелиные соты. При получении пены такая конструкция возникает самопроизвольно; в ней на каждом ребре многогранника сходятся три тонкие пленки, образуя угол в 120°. Эта пена характеризуется минимальной поверхностной энергией, а следовательно, она наиболее устойчива. В такой системе броуновское движение ограничено, она приобретает некоторые свойства твердого тела (например, пена обладает определенной упругостью) и в то же время сохраняет ряд свойств, присущих компонентам пены: сжимается, как газ, а раствор в пленках имеет свойства обычной жидкости.

Форму, подобную пятиугольным додекаэдрам, пузырьки пены приобретают, если их объемы (размеры) одинаковы. В большинстве пен отдельные пузырьки



имеют разный объем, и, следовательно, их форма не будет идеальной, наиболее устойчивой. Такая пена быстрее разрушается.

Получение пены с заданным комплексом свойств – чрезвычайно важная прикладная проблема. Для оценки свойств пены, а значит, и ее пригодности для тех или иных целей существует множество общих и специальных характеристик. Основные показатели – *кратность* пены, ее *дисперсность* и *устойчивость во времени.* Во многих случаях важны ее структурно-механические свойства, а также теплопроводность, электропроводность, способность длительное время удерживать в массе твердые частицы, устойчивость при изменении температуры, облучении и даже оптические свойства пеномассы.

Чаще других пользуются характеристикой «кратность пены», например, при оценке синтетических моющих средств, хотя однозначной связи между пенообразующей способностью и моющим действием порошков и жидкостей не обнаружено.



Кратность пены β – это отношение объема пены $V_п$ к объему раствора $V_ж$; таким образом, эта характеристика показывает, сколько объемов пены можно получить из одного объема жидкости. Пена состоит из газа и жидкости:

$$V_п = V_г + V_ж$$

Следовательно, кратность равна

$$\beta = V_п / V_ж = (V_г + V_ж)/V_ж$$

В строительстве и промышленности стройматериалов используют пены с кратностью 5-10, в прачечных – с кратностью 10–20; кратность пен для пожаротушения должна составлять 70–90. Известны пены с еще большей кратностью.

Стандарт (ГОСТ) жестко диктует условия, при которых следует определять кратность пены. В градуированный цилиндр на 1000 мл налить 98 мл воды и 2 мл пенообразователя. Закрыть пробкой. Встряхивать 30 с (двумя руками держать с торцов в горизонтальном положении и встряхивать вдоль оси цилиндра). Поставить на стол, вынуть пробку, измерить объем пены. Отношение объема пены к объему раствора (100 мл) и есть искомая величина.

Дисперсность пены характеризует средний размер воздушных пузырьков; чем меньше пузырьки, тем более дисперсна пена, при большом размере ячеек пену называют грубодисперсной. От дисперсности пены зависит скорость многих технологических процессов в микробио-

логической и химической промышленности, эффективность тушения пожаров, качество вспененной пластмассы, вкус мороженого и многих сортов конфет. Поэтому определение дисперсности является обязательным почти для всех производств, использующих пену. Для этих определений нужно измерить размер 300–600 воздушных пузырьков в пене, а затем с помощью формул математической статистики рассчитать средний размер и статистическое распределение пузырьков по размерам. Еще недавно для таких измерений пену фотографировали под микроскопом при определенном увеличении (метод микрофотографирования), а затем на фотографии с помощью линейки определяли размеры пяти-шести сотен пор; полученные данные обсчитывали на арифмометрах. Сейчас для этого используют автоматизированные установки, позволяющие определить размеры пузырьков и их относительное число в реальной пене. Пену замораживают жидким азотом, поэтому можно определять дисперсность даже нестойких пен. Измерения проводят с помощью лазерного луча или других сканирующих систем (так работают наши телевизоры). Математическую обработку результатов измерений и выдачу окончательных данных о дисперсности пены в виде графиков или таблиц выполняют быстродействующие электронно-вычислительные машины.

Иногда дисперсность оценивают *удельной поверхностью пены* – площадью поверхности пузырьков в 1 см^3 или в 1 г пеномассы; между дисперсностью и удельной поверхностью существует четкая математическая зависимость. Определять удельную поверхность пены сравнительно легко по ослаблению пучка света (метод ослабления светового потока), рентгеновского потока или γ-излучения (радиографический метод), измерением механических свойств пены (прибор Б. В. Дерягина).

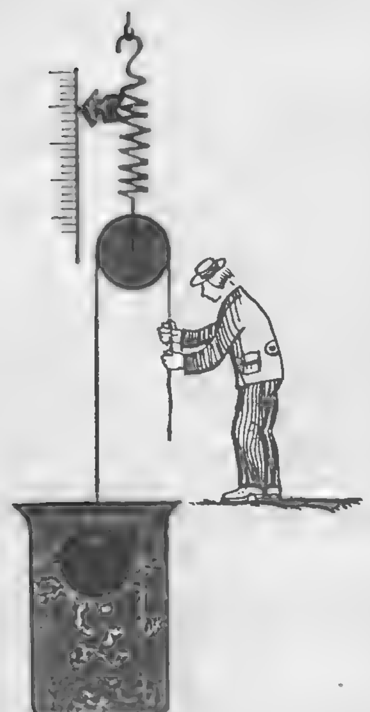
Площадь поверхности раздела жидкость – газ в пене очень велика (2000–4000 см^2/г для водных пен). Это свойство широко используется в технике, например при флотации. При обогащении руды стремятся создать такие условия, чтобы порошок руды собирался на поверхности водного раствора, а пустая порода опускалась в жидкости на дно флотационной машины. Если площадь поверхности раздела жидкость – газ мала, то даже из большого количества жидкости можно выделить лишь незначительное количество руды, но если этот же объем раствора распределен в пленках пены, то из него можно извлечь руды уже в тысячи раз больше.

Устойчивость, или *стабильность, пены* характеризует время ее существования до полного или частичного разрушения. Наблюдают за разрушением столба пены или измеряют время «жизни» отдельных пузырьков. Как правило, определяют время разрушения половины объема пены. Об устойчивости пены мы будем говорить еще не раз.

Для многих отраслей техники важны *структурно-механические свойства пены*. Главные из них – предельное напряжение сдвига и вязкость.

Предельное напряжение сдвига пены часто выражают через жесткость. Она характеризует способность пены воспринимать определенные механические нагрузки, например давление вышележащего столба пены, без деформаций, т. е. без изменения объема или формы. Удивительно, что пены обладают некоторой жесткостью, даже если их пленки жидкие. Это объясняется тем, что состояние равновесия соответствует минимальной поверхностной энергии, а любая деформация увеличивает эту энергию, т. е. требует внешней работы. Жесткость пен особенно разительна, если принять во внимание их низкую плотность: водная пена с пузырьками диаметром 1 см и с пленками толщиной 10^{-3} см имеет плотность около 0,003 г/см^3.

Сочетание низкой плотности и значительной жесткости используется, например, в пенах для огнетушения.



По усилию, необходимому для вытягивания шарика из пены, определяют ее вязкость.

Тонкий слой жесткой пены препятствует контакту между воздухом и воспламеняющимся веществом точно так же, как и любое покрывало, с той только разницей, что пена в сотни раз легче. К тому же основной компонент такого «покрывала» – вода – всегда доступен и дешев.

Вязкость пены – это реологическая характеристика (*реология – наука о течении*), знание которой позволяет определить условия перекачивания пены по трубам, растекаемость пенной массы по поверхности (например, при тушении пожара), способность к свободному истечению из отверстий.

Устройство простейшего прибора, предназначенного для определения вязкости пен методом извлечения шара, ясно из рисунка. Тарированная пружина с прикрепленной к ней стрелкой позволяет определить усилие, затрачиваемое на извлечение шара из пены с помощью нити, переброшенной через блок к тихоходному (10 об/мин) электромоторчику. Пользуются и другими методами; для них, как правило, нужны более сложные, но вместе с тем и более точные приборы.

Все основные свойства пены зависят в первую очередь от того, с помощью каких именно веществ ее получают, т.е. от вида и дозировки пенообразователя.

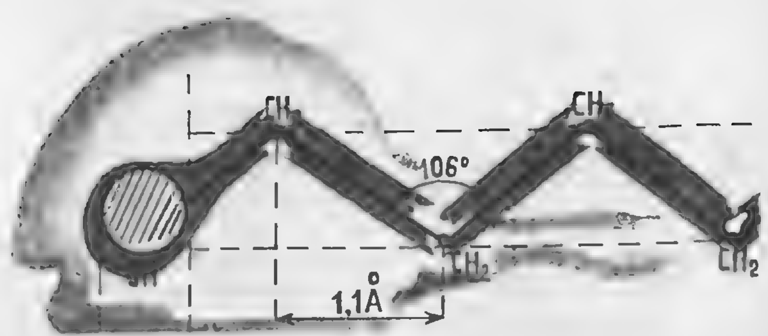
ПЕНООБРАЗОВАТЕЛИ

На вопрос, что такое пенообразователи, можно было бы ответить просто: это те вещества, которые при определенных условиях образуют пену. Однако на вопрос, какие же именно вещества образуют пену, столь однозначно ответить нельзя. Пена из водных растворов поверхностно-активных веществ – это одно, а пена из вязких растворов сахара или из раствора дизельного топлива в эфире – другое. Дабы в дальнейшем определить границы описываемого, условимся, что главное внимание мы будем уделять пенам, получаемым из водных растворов поверхностно-активных веществ или, сокращенно, ПАВ. Именно они и являются основными пенообразователями. ПАВ – это собирательное понятие, это тысячи различных веществ, каждое из которых в той или иной мере обладает пенообразующей способностью.

Поверхностно-активные вещества при растворении в жидкостях существенно понижают избыточную (свободную) поверхностную энергию, т.е. поверхностное натяжение, на границе раздела раствор – газ. Поясним, что при этом происходит.

Молекулы поверхностно-активных веществ состоят из полярных и неполярных групп. Полярные группы – это OH, COOH, NH_2, SO_3H и другие, а неполярные – это углеводородные цепи: прямые, разветвленные, замкнутые или их сочетание. Такая двойственность в структуре и определяет поведение молекул ПАВ в растворе и на границе раздела фаз.

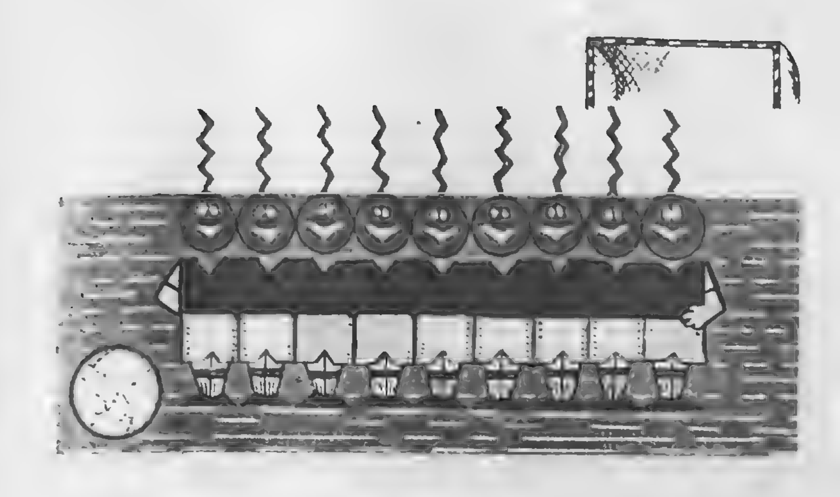
Принято изображать молекулы ПАВ в виде головастика: тем самым подчеркивается различие в свойствах полярной «головки» и неполярного «хвоста» молекулы. Действительно, молекулы ПАВ имеют два «лица», это своего рода двуликие Янусы. Если продолжать образные сравнения, то молекулу ПАВ можно уподобить спичке с головкой. Площадь поперечного сечения такой «спич-



«Головастик», он же «спичка». Так выглядит молекула ПАВ.

ки» около 20 Å² (0,2 нм²). В новейшей литературе отступают от строгих линий и изображают молекулы ПАВ в более «свободной форме».

Прибегнув к некоторым упрощениям, можно объяснить структуру и свойства ПАВ таким образом. Полярная часть молекулы ПАВ гидрофильна («водолюбивая»), а неполярная – гидрофобна («водоненавидящая» или, как чаще говорят, «водоотталкивающая»). Конечно, она никого не «отталкивает», как не отталкивает воду и «водоотталкивающая» ткань. Просто она воду «не любит», «враждебна воде», т. е. не смачивается водой. Гидрофильная же часть смачивается водой хорошо и увлекает за собой в раствор всю молекулу. Для гидрофобной части молекулы – обычно это длинная углеводородная цепочка – характерна, наоборот, «водобоязнь» и практически нерастворимость в воде. Из-за наличия гидрофобной группы молекулы ПАВ в объеме раствора притягиваются молекулами воды слабее, чем молекулы воды друг к другу. Именно поэтому ПАВ склонны скапливаться (адсорбироваться) на поверхности раствора (поверхности раздела



Плотным строем, как футболисты перед воротами при штрафном ударе.

фаз), образуя слой вещества толщиной в одну молекулу (мономолекулярный слой, или монослой). При этом концентрация ПАВ на поверхности раздела фаз может быть очень высокой, даже если в объеме раствора содержание ПАВ незначительно. В этом слое гидрофобные части молекул «торчат» в воздух, а гидрофильные «головки» погружены в воду.

Адсорбция молекул ПАВ на поверхности раствора приводит к понижению свободной поверхностной энергии и к появлению некоторых особых свойств: поверхностной вязкости, «эластичности» и т. д. Из такого раствора легко получить «мыльный» пузырь.

Если каплю раствора с поверхностно-активным веществом превратить в пузырек, можно подсчитать толщину его стенки h (в см):

$$h = V/4\pi R^2$$

где V – объем жидкости на кончике трубки, см³; R – радиус образовавшегося мыльного пузырька, см. При по-

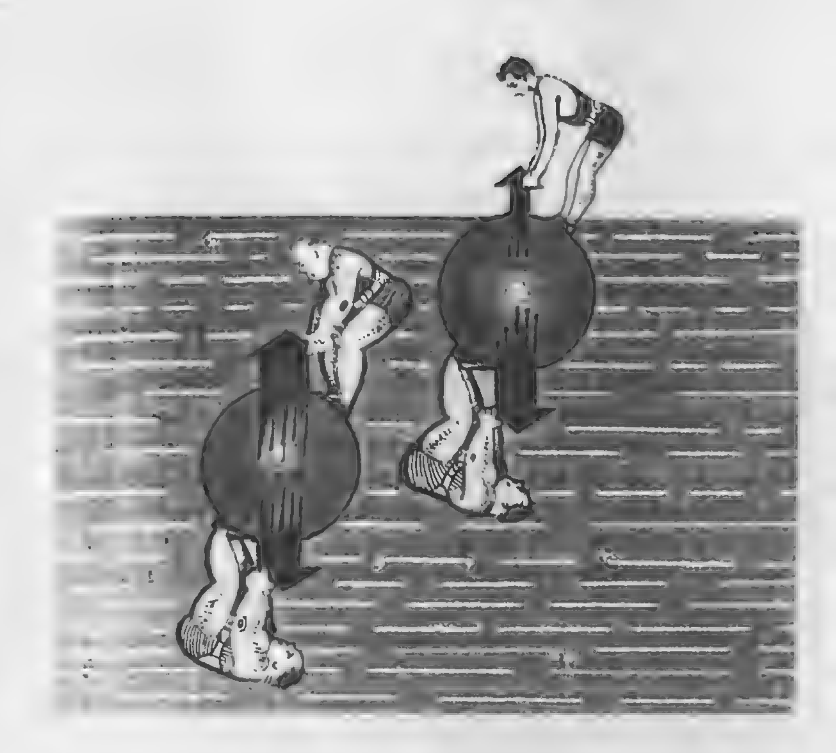
стоянном объеме мыльной жидкости толщина стенки пузырька h будет уменьшаться по мере увеличения размера шара. Когда мы дуем в трубку, чтобы растянуть жидкость в пленку, мы совершаем работу для преодоления сопротивления внешнего слоя жидкости.

Поясним это простой схемой из учебника. Молекулы в жидкости притягиваются друг к другу. Внутри жидкости силы такого взаимодействия (обозначены большой стрелкой) для всех молекул этой жидкости уравновешивают друг друга. Но у молекул, находящихся на самой поверхности, некоторые составляющие межмолекулярного взаимодействия (на нашем рисунке они условно обозначены более короткими стрелками) нескомпенсированы. Таким образом, молекулы жидкости как бы втягивают внутрь (правильнее сказать, стремятся втянуть) молекулы из наружного слоя. Разница этих двух сил, обозначенных большой и малой стрелками и направленных в противоположные стороны, очень велика.

Величину такого взаимодействия характеризуют понятием «внутреннее давление»; для жидкостей, особенно полярных, оно очень велико. Так, для воды внутреннее давление превышает 1,1 ГПа (гигапаскаля), что соответствует 11 тыс. атмосфер. Именно вследствие огромного внутреннего давления жидкости практически несжимаемы.

Так как силы молекулярного притяжения в поверхностном слое жидкости (и твердого вещества также) не скомпенсированы, в нем появляется свободная поверхностная энергия. Количественно эту энергию характеризуют удельной величиной, т.е. величиной, отнесенной к единице поверхности. Эта энергия, обозначаемая греческой буквой σ, является основной характеристикой поверхностного слоя жидкости или твердого вещества.

В большинстве случаев без особых оговорок термин «удельная свободная поверхностная энергия» заменяют термином «поверхностное натяжение».



У молекул в поверхностном слое силы межмолекулярного взаимодействия не уравновешены.

Поверхностное натяжение – это работа, которую нужно затратить на образование единицы поверхности данного вещества, т.е. на то, чтобы увеличить его поверхность на 1 см^2. Чем меньше эта работа, тем меньше поверхностное натяжение, тем легче диспергируется вещество (для жидкостей – легче образуются пены и эмульсии). Поверхностное натяжение в первую очередь зависит от природы вещества. Напомним читателю, что у воды поверхностное натяжение очень велико – 72,58 дин/см, или эрг/см^2, это почти в 3,5 раза больше, чем у этилового спирта и в 2,5 раза больше, чем у бензола.

Поверхностное натяжение традиционно выражали в динах на сантиметр (дин/см) или в эргах на квадратный сантиметр (эрг/см^2). Численно эти значения совпадают. Таким образом, поверхностное натяжение – это сила, приходящаяся на единицу длины, или энергия, приходящаяся на единицу поверхности. В СИ силу выражают в ньютонах (Н), а единицу длины – в метрах (м). Размерность поверхностного натяжения выражается в ньютонах на метр (Н/м). (Для тех, кто еще не полностью освоился с переходом на новые единицы, в скобках будем указывать и старые.) Для воды $\sigma = 72{,}58 \cdot 10^{-3}$ Н/м.

Поверхностное натяжение на границе раздела двух жидкостей или жидкости и газа измеряют с помощью хотя и простых, но весьма точных приборов. Для определения поверхностного натяжения на границе раздела жидкость – воздух чаще других пользуются методом максимального давления образования пузырька. Для этого служит капиллярный прибор, усовершенствованный П. А. Ребиндером. В растворе, для которого необходимо определить поверхностное натяжение, выдувают воздушный пузырек и измеряют давление, при котором пузырек отрывается от капилляра. Прибор представляет собой стеклянный капилляр, соединенный трубкой с чувствительным устройством для измерения давления; обычно это барометрическая трубка, заполненная подкрашенной водой.

С помощью прибора П. А. Ребиндера определяют сначала максимальное давление газового пузырька в чистой воде, а затем в исследуемом растворе. Для конечного расчета достаточно составить простую пропорцию, в которой не известна только искомая величина.

Пользуются и другими методами: взвешивания капли, капиллярного поднятия, отрыва кольца от поверхности, колеблющейся струи, скорости течения в капиллярах и др.

Чем меньше поверхностное натяжение раствора, тем меньше работа, которую нужно затратить, чтобы получить большую поверхность раздела газ – жидкость и тем легче создать большую поверхность пленок в пене и получить большой объем пены. Из растворов поверхностно-активных веществ с малым поверхностным натяжением можно получать пены повышенной кратности. Поверхностное натяжение пенообразователей легко определить экспериментально, что позволяет предсказывать пенообразующую способность известных и вновь создаваемых ПАВ и оценивать их пригодность для изготовления пен. Но это далеко не единственный технический критерий, по которому выбираются пенообразователи. Для практики важны и такие характеристики, как растворимость в воде, моющая и смачивающая способность, способность к пенообразованию в жесткой и морской воде и многие другие. Зная эти показатели, можно, не проводя дополнительных специальных испытаний, определить рациональные области применения пенообразователей.

В последние годы к числу важнейших оценочных критериев относят биологическую разлагаемость ПАВ. К сожалению, ПАВ могут оказывать отрицательное воздействие на растительный и животный мир, на природу вокруг нас. Использование пены для флотации, в текстильном производстве и в пищевой промышленности, при пожаротушении, промывке танкеров и машин, стирке (этот перечень можно продолжать и продолжать) привело к тому, что в сточных водах неизбежно появляются поверхностно-активные вещества – пенообразователи. Со сточными водами они попадают в очистные сооружения, на поля орошения, в реки и озера. Поэтому токсичность пенообразователей и скорость их биологического разложения необходимо тщательно контролировать.

В очистных сооружениях под действием бактерий, кислорода и ультрафиолетовых лучей происходит биологическая очистка сточных вод. Этот процесс – так называемое самоочищение – продолжается в естественных во-

доемах. Биохимический распад приводит к тому, что входящие в состав пенообразователей органические вещества окисляются до CO_2 и воды (40% от массы ПАВ) а остальная масса становится безвредной и усваивается микроорганизмами. Если же биохимического разложения не происходит, то окружающей среде наносится громадный экологический вред: болеет и погибает рыба, водоплавающая дичь, зоопланктон, замедляется рост водяных растений, возможны и другие вредные последствия.

По стандартам, действующим в странах СЭВ, выпускаемые промышленностью поверхностно-активные вещества в зависимости от биологической разлагаемости подразделяются на три группы:

I – биологически хорошо разлагающиеся вещества (количество биологически разлагающегося вещества $K_{разл}$ не менее 85%);

II – биологически средне разлагающиеся вещества ($K_{разл}$ = 70–85%);

III – биологически трудно разлагающиеся вещества ($K_{разл}$ менее 70%).

К поверхностно-активным веществам третьей группы-биологически жестким ПАВ – относится большинство катионоактивных препаратов, а среди неионогенных и анионоактивных веществ – такие, как рафинированный алкиларилсульфонат (препарат РАС), сульфонол НП-1, а также ОП-7 и ОП-10 и ряд других (о химической классификации ПАВ речь пойдет чуть дальше).

В Советском Союзе составлен список ПАВ, рекомендуемых для применения в промышленности в зависимости от их биологической разлагаемости. Повсеместно вещества группы III заменяются веществами групп I и II. По существующим требованиям моющие средства должны содержать не менее 80% биорасщепляемых компонентов. Эти меры должны способствовать сохранению экологического равновесия в окружающей нас природе.

Все выпускаемые в нашей стране поверхностно-активные вещества проходят тщательную токсикогигиеническую проверку. Оценивается их раздражающее воздействие на кожу, дыхательные пути, глаза человека и животных, а также отравляющее действие при попадании в организм человека. Установлено, что пенообразователи, получаемые из пищевых продуктов, абсолютно безвредны. Безвредны также большинство ПАВ, производимых из других видов животного и растительного сырья; синтетические ПАВ требуют более осторожного обращения. Так, если разбавленные растворы синтетических ПАВ не вызывают побочных явлений при попадании на кожу и даже в глаза человека, то концентрированные растворы при многократном действии могут вызвать дерматиты и ухудшение зрения. Все применяемые ныне пенообразователи не обладают кумулятивным действием, т.е. не накапливаются в организме, и попавшие в нас мелкие дозы ПАВ быстро выводятся из организма без ощутимых последствий. Опасны для человека лишь дозы в сотни граммов. В этом смысле и обычная поваренная соль опасна: двести граммов соли вызовут смертельное отравление, если их проглотить сразу. Оговоримся, что это данные экспериментов на животных.

Не следует думать, что пену можно получать только в растворах, содержащих ПАВ. Известно, что растворы электролитов не дают пены, так как воздушные пузырьки в такой среде живут считанные доли секунды. Поэтому невозможно получить пену, например, в растворе ацетата свинца или во взвеси гидроксида алюминия. Но смесь этих растворов при определенных условиях дает пену, которая может существовать двое суток. Еще более живуча пена из смеси растворов солей салициловой кислоты и гидроксида алюминия (более 20 суток).

Как мог заметить читатель, названные электролиты – это соли органических кислот. Поэтому некоторые исследователи считают, что пенообразование в таких смесях

(только вместе!) связано с возникновением сложных внутрикомплексных, или многоядерных, соединений, изучением которых заняты химики многих стран. Правда, такие соединения в качестве пенообразователей находят пока еще крайне ограниченное применение.

Образование пены из жидкости, независимо от характера этого процесса и типа вспенивающего агента, предполагает растворение в жидкости поверхностно-активных веществ. При растворении ПАВ получаются истинные либо коллоидные растворы. Истинные (иначе – молекулярные) растворы содержат частицы размером не более 0,001 мкм, т. е. 10^{-9} м, что сопоставимо с размером молекул, они в растворе уже не образуют отдельной фазы. Растворы, содержащие частицы размером от 0,001 до 0,1 мкм, т. е. 10^{-7} – 10^{-9} м, называют коллоидными. Эти растворы менее дисперсны, чем истинные, но более дисперсны (менее грубые), чем суспензии и эмульсии.

Между ПАВ и растворителем, например водой, происходят сложные взаимодействия. В зависимости от вида образующихся при этом систем все поверхностно-активные вещества принято разделять на две категории. Это деление имеет прямое отношение к эффекту пенообразования в растворах.

К первой категории относятся мицеллообразующие (полуколлоидные, или мылоподобные) вещества, к другой – вещества, не образующие мицелл. ПАВ первой категории в растворе выше некоторой определенной концентрации, называемой критической, образуют коллоидоподобные объединения, называемые мицеллами. Обычно такие растворы обладают высокой пенообразующей способностью. ПАВ второй категории не образуют мицелл ни в растворах, ни в адсорбционных слоях. При любой концентрации они находятся в истинно растворенном состоянии и являются слабыми пенообразователями.

К поверхностно-активным веществам первой категории относятся некоторые природные соединения (белки, альгинаты, пектиновые вещества и т. д.), продукты химической обработки природных полимеров (производные целлюлозы) и синтетические полимеры.

Пенообразователи из природных соединений на основе растительного сырья и животных продуктов используются человеком для мытья и стирки, приготовления пищи и для некоторых технологических процессов уже несколько тысячелетий. В жарких районах Кавказа, Средней Азии, Африки, Южной Америки издавна широко применялся мыльный корень. Это корень растения сапониноноса, содержащего легко извлекаемый водой сильный пенообразователь – сапонин. Корень очищали, сушили, размалывали, порошок смешивали с глиной и формовали кусочки «мыла». Последние хорошо мылились (давая пену) в мягкой и даже в жесткой воде. Предостерегаем читателя от поспешного вывода о том, что основой моющего действия является пенообразование. О моющем действии – позднее. А пока заметим, что вещество, дающее в растворах отличнейшую пену, не всегда хорошо отмывает.

К числу эффективных природных пенообразователей относится также агар-агар – смесь полисахаридов морских водорослей. Известно несколько десятков водорослей, из которых агар-агар получают в промышленном масштабе; это, например, морская капуста. Все они содержат агар-агар в виде солей щелочных и щелочноземельных металлов. Он и сейчас широко применяется в кондитерской промышленности и в медицине в качестве пенообразующего и желирующего средства, а также стабилизатора.

Наиболее устойчивые пены образуются на основе белковых пенообразователей, которые получают из разнообразных веществ, либо полностью состоящих из белка, либо содержащих его в значительном количестве. Эти белки извлекают из крови животных, кожи, костей, рогов, копыт, щетины, перьев, рыбьей чешуи, жмыха мас-

личных культур, а также продуктов, получаемых из молока. При производстве таких пенообразователей белки предварительно гидролизуют, так как продукты их гидролиза обладают гораздо более высокой пенообразующей способностью, чем сами белки. Для этого белки подвергают тепловой обработке в кислотной, щелочной или нейтральной среде, причем гидролиз не должен идти до конца, так как продукты конечного распада белков – аминокислоты – не обладают способностью образовывать устойчивую пену.

Все белковые пенообразователи представляют собой питательную среду для различного рода микроорганизмов, поэтому в состав этих пенообразователей обязательно вводят антисептики (фторид натрия, фенол и другие). Без них пенообразователи быстро теряют свои свойства и начинают дурно пахнуть.

Промышленные пенообразователи на основе белкового сырья (например, ПО-6, ПО-7 и другие) приготавливают многостадийной переработкой. Так, при производстве пенообразователя ПО-6 белок крови животных вначале гидролизуют едким натром, затем нейтрализуют хлоридом аммония или серной кислотой, полученный раствор упаривают до заданной концентрации. Для повышения устойчивости пены в состав пенообразователя вводят сульфат железа, фторид натрия или другие стабилизаторы.

При производстве пищевых продуктов используют пенообразователи из яичного белка и молочных продуктов. По пенообразующим свойствам не уступают яичному белку выжимки из семян сои и хлопчатника, экстракт чая. Для повышения устойчивости пищевых пен, как правило, вводятся стабилизаторы – казеин, альгинаты, желатин.

Однако сырьевая база для производства пенообразователей из растительных и животных продуктов весьма ограниченна, поэтому в развитых странах освоено про-

изводство поверхностно-активных веществ, называемых синтетическими (искусственными).

Еще до конца 50-х годов основным моющим веществом было жировое мыло, для изготовления которого использовались сотни тысяч тонн продуктов животного и растительного происхождения: жир бараний, свиной, говяжий, китовый, а также масло подсолнечное, хлопковое, льняное и другое. Нет нужды говорить, что это жиры, которые могут найти и другое применение.

Мыла, изготовленные из такого сырья,– это соли предельных и непредельных жирных кислот. Такие мыла долгое время были чуть ли не единственными пенообразователями. Интересно, что уже в XIII веке на Руси было налажено производство мыла, его даже вывозили в другие страны.

В 1912 году русский ученый Г. С. Петров путем сульфирования нафтеновых кислот получил первое синтетическое моющее средство. Это был так называемый «контакт Петрова»; ныне по этому способу производится большинство моющих веществ. В недалеком прошлом такие вещества называли заменителями или вспомогательными. Но это как раз тот случай, когда «заменитель» оказался лучше заменяемого.

ИХ НАЗЫВАЮТ МОЮЩИМИ

С момента рождения человека мыло прочно входит в его жизнь. Мыло – символ чистоты, здоровья, культуры. Не удивительно, что известный немецкий химик прошлого столетия Либих предлагал измерять степень культуры того или иного народа количеством потребляемого мыла.

Обычное мыло плохо отмывает масляные и смоляные пятна, оно совершенно не пригодно для стирки в морской воде. Моющее действие мыла проявляется в полной мере при температурах 60–70°С, но такая температура не

подходит для многих видов тканей. Поэтому теперь в быту отдают предпочтение стиральным порошкам – это «Лотос», «Астра», «Дон» и другие. Их основу составляют синтетические ПАВ, которые лишены недостатков мыла, а главное, для их производства не требуется расходовать пищевые жиры.

Более половины всех производимых в мире синтетических ПАВ сейчас используется для стирки и чистки тканей и изделий из них. Именно поэтому их часто называют моющими средствами.

Упрощенно моющий эффект поверхностно-активных веществ можно объяснить так: под их действием частицы загрязнений отрываются от очищаемой поверхности и переходят в эмульсию или суспензию, причем многие ПАВ и добавки к ним препятствуют оседанию загрязнений на отмытую поверхность. Моющее действие и пенообразование иногда рассматривают почти как синонимы. Но процесс очистки под действием ПАВ значительно сложнее описанного, он изучен еще недостаточно, и пока нет стройной теории моющего действия. Поэтому в быту и на производстве для стирки используется одновременно огромное количество различных композиций, а выбор того или иного моющего препарата часто основан на интуиции специалистов.

Обычно в состав моющих средств (помимо поверхностно-активных веществ) входят различные добавки, которые дополнительно отбеливают ткань, придают ей приятный запах, умягчают воду и т. д. Такими смесями и являются различные стиральные порошки.

Не следует думать, что поверхностно-активные вещества служат только для поддержания чистоты в быту. Трудно переоценить роль ПАВ в текстильной промышленности, которая является их давним потребителем. Здесь они используются и при мойке, и при крашении, и при печатании рисунка, и во многих других процессах. Велика роль синтетических поверхностно-активных веществ при производстве, переработке и очистке искусственных волокон. Синтетические ПАВ широко применяются для мойки различных емкостей, например баков нефтеналивных судов, машин-молоковозов, бутылок и банок перед консервированием; для предокрасочной очистки от масел и других загрязнений машин и приборов; перед сборкой часов, станков и других механизмов их детали тщательно моют в растворах синтетических ПАВ.

Мы рассказали здесь далеко не обо всех возможных областях использования моющих синтетических поверхностно-активных веществ, но даже из этого очень беглого обзора видно, сколь велика потребность в этих пенообразователях.

Надеемся, что читатель убедился в преимуществах моющих синтетических ПАВ перед обычным мылом. Добавим к сказанному, что они хорошо растворяются в воде и легко дозируются; растворы их обладают максимальным моющим действием при температуре 20–30°С, что очень важно при стирке тонких дорогих тканей; моющее действие их в 2–3 раза сильнее, чем у мыла, они не разъедают тканей, не обесцвечивают красок, не чувствительны к кислотам и жесткой воде.

Но есть у них и недостатки. О главном – медленной биологической разлагаемости – мы уже говорили. Для некоторых крупных городов Западной Европы этот недостаток ПАВ оборачивается серьезной проблемой. Париж расходует огромное количество моющих средств, но так как от них очищается ещё не вся вода, на поверхности Сены, куда сбрасываются стоки, слой мыльной пены иногда достигает столь большой высоты, что это затрудняет работу речного транспорта. Нарушение судоходства из-за появления на реке огромных скоплений пены отмечалось и на Рейне.

Поэтому одна из важнейших забот химиков – создание новых, биологически разлагаемых или так называемых

мягких синтетических поверхностно-активных веществ.

Велик перечень современных синтетических поверхностно-активных веществ, огромны масштабы их производства. Различны виды исходного сырья и методы его переработки в ПАВ, различны свойства, достоинства и недостатки этих веществ.

Наряду с термином «синтетические моющие средства» в технической литературе можно встретить термин «детергент», что соответствует русскому слову «моющий». Таких «моющих» препаратов по торговым маркам насчитывается более 2 тысяч наименований. Число их непрерывно растет, и уже есть моющие вещества специального назначения, исходным сырьем для которых служат сахар и крахмал, фосфаты и производные аммиака, целлюлозы и многое другое.

О СТРУКТУРЕ ПАВ

Все ПАВ независимо от состава и способа получения по своей структуре подразделяются на несколько классов.

1. Наиболее распространенные и наиболее потребляемые – *анионоактивные*.

Туалетное мыло, которым мы умываемся, состоит в основном из анионоактивного вещества, правда, животного происхождения – смеси стеарата и олеата натрия, т.е. натриевых солей стеариновой и олеиновой кислот. Молекулы анионоактивного вещества – стеарата натрия в водных растворах диссоциируют с образованием аниона – кислотного остатка:

$$C_{17}H_{35}COONa \leftrightarrows \underbrace{[C_{17}H_{35}COO]^-}_{\text{стеарат-анион}} + Na^+$$

Эта часть молекулы является носителем поверхностной активности.

В синтетических ПАВ типа $R-SO_3Na$ анион содержит длинные углеводородные цепочки (от 8 до 18 атомов углерода). Нетрудно догадаться, что основной путь получения моющих веществ этого типа – сульфирование, т.е. введение в молекулу исходного органического соединения сульфогруппы $-SO_3H$. Достигается это действием серной кислоты. Затем продукт сульфирования нейтрализуют щелочью и получают растворимую соль, молекулу которой можно изобразить в виде головастика. Хвостик у этого головастика гидрофобный, головка – гидрофильная. Это и есть тот случай, когда в одной молекуле сочетаются два свойства: молекула дифильна. Дифильны молекулы всех ПАВ независимо от класса, к которому по структуре они принадлежат.

Адсорбируясь на границе раздела воздух – вода или масло – вода, гидрофильная головка всегда «плавает» в воде, а гидрофобный хвостик «торчит» в воздухе или масле.

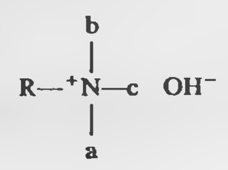
В производстве мыл и многих других мылоподобных пенообразующих средств используют жирные карбоновые кислоты RCOOH, получаемые гидролизом растительных и животных жиров, а в последние годы – в основном гидролизом синтетических жирных кислот (СЖК), которые, в свою очередь, получают из парафинов, извлекаемых при очистке и переработке нефти.

Наибольшее значение из солей монокарбоновых кислот имеют мыла (натриевые, калиевые и аммонийные) жирных кислот и мыла (натриевые, реже калиевые) смоляных кислот. Косметическая промышленность предпочитает пенообразователи из фракционированных жирных кислот кокосового масла в смеси с оливковым или касторовым маслом.

Среди большого числа анионоактивных веществ, составляющих основу многокомпонентных композиций синтетических моющих средств, очень широко применяются алкиларилсульфонаты и алкилсульфаты. В боль-

ших объемах анионоактивные ПАВ изготавливаются для использования в пожарной технике для тушения пожаров пеной. Все эти ПАВ синтезируют из бензола, керосина, газойля и высших жирных спиртов.

2. Менее распространены ПАВ *катионоактивного типа*. Носителями поверхностной активности в молекулах таких ПАВ, как это следует из названия, служат катионы. Например, типичное катионоактивное ПАВ – производное четвертичного аммонийного основания, имеет такую общую формулу:



Здесь a, b, c – короткие радикалы, а R – длинный углеводородный радикал, содержащий от 8 до 18 атомов углерода. Это вещество диссоциирует на катион сложного состава и анион (чаще всего это хлор-, бром-, или ацетат-ион).

Сырьем для катионоактивных ПАВ, имеющих хозяйственное значение, служат амины, получаемые из жирных кислот и спиртов.

Катионоактивные ПАВ используются в качестве пенообразователей в меньшей степени. Однако следует отметить, что катионоактивные ПАВ способны гидрофобизировать поверхности, с которыми они соприкасаются. Это позволяет применять их как флотореагенты: зерна полезных ископаемых, подлежащих отделению от пустой породы, становятся несмачиваемыми, что облегчает и ускоряет обогащение. Эффект гидрофобизации иногда оказывается полезным и при использовании катионоактивных ПАВ в составе моющих средств: образование несмачиваемой поверхности ускоряет сушку очищаемых тканей, емкостей или машин.

3. В водных растворах совсем не диссоциируют вещества *неионогенного типа*, к которым относятся высокомолекулярные производные целлюлозы, сапонины, лигносульфоновые кислоты, соли альгиниловой кислоты и другие.

В отечественной практике наибольшее распространение из веществ этого типа получили ПАВ, изготавливаемые на основе этиленоксида и продуктов переработки угля и нефти. К ним относятся многочисленные вещества типа ОП (ОП-7, ОП-10, ОП-20), особенно широко применяемые в текстильной промышленности в качестве смачивателей. Их синтезируют конденсацией этиленоксида с алкилфенолами. В результате получается полиэфир сложного строения.

В молекулах веществ неионогенного типа гидрофильной является полиоксиэтиленовая часть молекулы. Неионогенные ПАВ – наиболее перспективный класс ПАВ, которые уже сейчас используются в производстве пенополимеров и моющих средств, в пожарной технике и т. д.

Не менее 85–90% таких ПАВ получают при взаимодействии этиленоксида со спиртами, фенолами, карбоновыми кислотами, аминами и другими соединениями с реакционноспособными атомами водорода.

Вещества неионогенного типа можно получить и на основе моно- и диэфиров сахарозы. Они не ядовиты, не имеют запаха и вкуса. Они совсем не раздражают кожу, поэтому их очень удобно применять в косметических препаратах. В Италии и Японии такие «сахарные» ПАВ разрешено применять даже в пищевой промышленности. С добавкой такого «мыла» хлеб долго сохраняет свои первоначальные свойства – запах, вкус и даже мягкость. Малые добавки таких ПАВ к пиву обеспечивают его сохранность на многие месяцы.

4. Четвертую группу синтетических ПАВ составляют вещества, которые в шутку можно назвать «приспособленцами». В нейтральной среде они ведут себя как неио-

ногенные, в кислой – как анионоактивные, в щелочной – как катионоактивные. Их название – *амфолитные ПАВ*. Типичными амфолитами являются белки. По химическим свойствам амфолитные ПАВ сходны с амфотерными неорганическими гидроксидами. Амфолитные ПАВ хорошо растворяются в воде и в большинстве органических растворителей.

Поверхностно-активные вещества используются всегда в виде растворов, в основном в виде водных растворов. Перечислим важнейшие свойства растворов ПАВ.

1. Даже в очень разбавленных растворах ПАВ вследствие адсорбции и ориентации молекул на поверхности раздела фаз наблюдается понижение поверхностного натяжения. В результате в таких растворах легко осуществляются процессы эмульгирования, смачивания, диспергирования, пенообразования.

2. При малых концентрациях ПАВ в растворах вещество находится в молекулярной форме. Повышение концентрации ПАВ до определенного значения (критическая концентрация мицеллообразования) приводит к образованию агрегатов из десятков молекул ПАВ, так называемых мицелл. Мицеллы – это уже новая фаза, и растворы ПАВ в отличие от истинных растворов представляют собой микрогетерогенную систему типа коллоидной.

3. Мицеллообразование приводит к уменьшению запаса свободной энергии в растворах ПАВ. Этот процесс неизбежен в концентрированных растворах пенообразователей. Если в раствор ПАВ ввести измельченное твердое или жидкое (в виде капель) вещество, то молекулы ПАВ из раствора будут адсорбироваться на их поверхности, пока не образуется насыщенный адсорбционный слой. При этом мицеллы разрушаются и вновь образуется истинный раствор.

Наличие мицелл в растворах ПАВ установлено еще в прошлом веке, а вот форма и размер мицелл продолжают быть предметом исследований и дискуссий. Мы ограничимся констатацией факта существования мицелл.

4. Для растворов ПАВ характерно явление *солюбилизации*. Оно состоит в том, что молекулы водонерастворимых углеводородов растворяются в растворах ПАВ. Происходит это за счет взаимодействия мицелл с молекулами углеводородов. Это явление широко используется в технике.

Если весь объем ПАВ, изготавливаемых промышленным путем, принять за 100%, то на долю анионоактивных придется около 80%, неионогенным отведено около 15%. Оставшиеся 5% распределяются между катионоактивными (3–4%) и амфолитными (1–2%). В разных странах статистика различна, но близка к этому соотношению.

ИЗ ЧЕГО И КАК ДЕЛАЮТ ПАВ

Потребности народного хозяйства в поверхностно-активных веществах огромны. Их производство во всем мире возрастает с каждым годом. Из какого сырья получают огромные количества разнообразных ПАВ?

Мы уже говорили, что до середины 60-х годов использовались главным образом природные (натуральные) поверхностно-активные вещества. Основной объем ПАВ получали сравнительно простой переработкой ограническского сырья животного и, реже, растительного происхождения. Некоторые из этих веществ, хорошо зарекомендовавшие себя в промышленности и в быту, и теперь не утратили своего значения. Это объясняется не только довольно высокой эффективностью их действия, но и в немалой степени низкой стоимостью.

Поверхностно-активные вещества, получаемые из пищевых продуктов, упоминаются в разных разделах книги.

Их доля в общем объеме производства ПАВ все время сокращается: их заменяют синтетическими ПАВ, которые по качествам не уступают, а в ряде случаев и превосходят природные аналоги.

А вот ПАВ из растительного и прежде всего лесного сырья продолжают изготавливать в больших количествах. Ведь в этом случае в переработку идут отходы, к примеру нестроевой лес, поэтому сырьевая база для выпуска таких ПАВ огромна.

Поверхностно-активные вещества из лесного сырья – одни из основных пенообразователей, используемых в строительстве: для облегчения стен из бетона, кирпича, арболита, для повышения морозостойкости дорожных и гидротехнических бетонов, для производства высокопористых теплоизоляционных и акустических плит.

Очень высокой пенообразующей способностью обладает *смола нейтрализованная воздухововлекающая (СНВ)* – омыленная едким натром (NaOH) техническая абиетиновая смола. Она представляет собой не что иное как канифоль. Сырьем в данном случае служит смола хвойных деревьев, главным образом сосны, которая более чем на 70% состоит из нелетучих смоляных кислот (это и есть канифоль). Сосновую смолу собирают в виде живицы или извлекают экстракцией из продуктов сухой перегонки древесины. Отгоняют летучие вещества (в основном скипидар), а остаток – абиетиновую и другие смоляные кислоты – омыляют при нагревании. (Абиетиновая кислота составляет большую часть канифоли.)

Добавляя к цементу всего 0,01–0,03% СНВ, удается значительно повысить долговечность бетона (за счет образования воздушных пор, в которые вытесняется вода при замораживании бетона), а при дозировке 0,1% заметно снижается плотность бетонных конструкций.

Уже многие десятилетия выпускается промышленностью *омыленный древесный пек (ЦНИПС-1)* – нейтрализованные едким натром жирные кислоты древесного пека. Последний в виде черного полутвердого остатка получается при перегонке древесного дегтя. Омылением в горячих растворах щелочи получают водорастворимый продукт – эффективную воздухововлекающую пенообразующую добавку для поризации бетонов.

Определенным пенообразующим эффектом обладают ПАВ, получаемые из отходов целлюлозно-бумажной промышленности. При сульфитной варке бумажного сырья образуется в больших количествах сульфитный щелок, содержащий лигносульфоновый комплекс. Из него на целлюлозно-бумажных комбинатах производят группу стандартизованных поверхностно-активных веществ – сульфитно-спиртовую барду (ССБ) и сульфитно-дрожжевую бражку (СДБ). Эти ПАВ характеризуются постоянством состава и свойств, т.е. способны выдерживать длительное хранение. Они представляют собой соли лигносульфоновых кислот: ССБ – кальциевых, а СДБ – смесь кальциевых, натриевых и аммониевых солей; пенообразующая способность СДБ несколько выше, чем у ССБ. На всех крупных целлюлозно-бумажных комбинатах сульфитно-спиртовую барду и сульфитно-дрожжевую бражку выпускают в виде жидких концентратов или твердого порошкообразного продукта.

В последние 10–15 лет у нас в стране и за рубежом ведутся интенсивные работы по лабораторному синтезу и промышленному освоению новых видов поверхностно-активных веществ из нефтяного сырья и из полупродуктов и отходов крупнотоннажных химических производств. Создана большая группа высокоэффективных ПАВ общего и целевого назначения.

Мы уже говорили о том, что все ПАВ, независимо от состава и способа получения, по своей структуре делятся на четыре группы и охарактеризовали эти группы (анионоактивные, катионоактивные, ПАВ неионогенного типа, амфолитные), а также назвали типы органических соеди-

нений, из которых эти ПАВ могут быть получены. Этот перечень, весьма обширный, может быть продолжен, но мы здесь ограничимся тем, что несколько подробнее опишем те поверхностно-активные вещества, эффективность применения которых в народном хозяйстве подтверждена практикой и выпуск которых освоен или осваивается на предприятиях и опытных установках страны. К таким ПАВ относятся:

синтетические жирные кислоты (СЖК), получаемые окислением парафинов;

сложные эфиры жирных кислот и полиэтиленгликоля;

сополимерные смолы из продуктов пиролиза нефти;

кубовые остатки некоторых производств (синтетических жирных кислот, высших жирных спиртов и стирола);

соли алкиларилсульфокислот (где арил – бензол, нафталин);

продукты, полупродукты и отходы пиролиза нефти и синтеза нефтепродуктов.

Все эти вещества вырабатываются в больших объемах на заводах Азербайджана, Башкирии, Сибири, Украины и других районов Советского Союза.

Основная сырьевая база для производства синтетических ПАВ – это нефть и нефтепродукты. Большую роль тут сыграли исследования Энглера, Н.Д. Зелинского, Г.Р. Петрова, Р. Фишера и других крупных химиков, установивших возможность получения синтетических кислот окислением углеводородов нефти. Окисление воздухом осуществляют в присутствии катализатора (например оксида марганца) при температуре примерно 125 °С. Из легких парафинов образуются жирные кислоты, при окислении керосина – в основном циклические кислоты типа нафтеновых. Жирные и нафтеновые кислоты, а также амины, спирты и сложные эфиры и служат сырьем для производства поверхностно-активных веществ различного назначения.

Назовем и охарактеризуем несколько наиболее потребляемых ПАВ.

Сульфанол хлорный – натриевая соль алкилбензолсульфоната. Получают на основе керосина и бензола (хлорный метод) или на основе тетрамеров пропилена с последующей обработкой серной кислотой (сульфирование) и каустической содой (омыление).

В водном растворе сульфанол диссоциирует с образованием аниона, который и является носителем поверхностно-активных свойств (pH 1%-ного раствора (по ПАВ) составляет от 7 до 9):

$$\underset{\text{алкилбензолсульфонат}}{ArRSO_2ONa} \rightarrow \underset{\text{анион}}{ArRSO_2O^-} + Na^+$$

где Ar – остаток бензола фенил C_6H_5 или остаток толуола бензил $C_6H_5CH_2$, а R – углеводородная цепь C_9–C_{12}.

Средняя молекулярная масса сульфанола достигает 300; его состав (в %):

натриевых солей алкилбензолсульфокислот – не менее 80;

несульфируемых соединений – не более 3;

сульфатов и сульфитов натрия – не более 15.

Сульфанол выпускается в двух видах – жидком (содержание активного вещества не менее 45%) и порошкообразном (100% активного вещества).

Азоляты (А, Б, А-2) – смесь натриевых солей алкилбензолсульфокислот. Получают из керосино-газойлевых фракций нефти в виде хорошо растворимых в воде паст. Средняя молекулярная масса 300–350, активных веществ 50–70%, воды 20–35%; относятся к «биологически мягким» ПАВ. Биоразлагаемость в сточных водах при исходной концентрации ПАВ 20 и 10 мг/л составляет 85 и 95% соответственно. Поверхностная активность азолятов достаточно велика: поверхностное натяжение для азолята А и азолята Б составляет при концентрации 0,1%

соответственно 31,2 и 35,6 Н/м, а при концентрации 0,5%–27,9 и 30,0 Н/м.

Кальциевые соли алкиларилсульфокислот – высокомолекулярный алкиларилсульфонат. Получают на основе продуктов конденсации флегмы каталитического крекинга и крекинг-керосина с последующим сульфонированием и нейтрализацией. Средняя молекулярная масса от 40 до 500. Содержание активных веществ 14–15%, воды – до 80%. Существенно снижает поверхностное натяжение воды (до 37 Н/м) уже при концентрации в растворе 0,25%. Дает высокократную и устойчивую пену. Эффективен в цементных материалах, глиняных суспензиях.

Динатриевые соли сульфокарбоновых кислот – смесь высокомолекулярных кислот с числом углеродных атомов более 18. Общая формула

$$R - CH(SO_3Na) - COONa$$

Биоразлагаемость в сточных водах достигает 90–95%. Получают из дешевого и недефицитного сырья по простой технологии, что делает динатриевые соли сульфокарбоновых кислот перспективными ПАВ для получения пен средней кратности.

Некаль – смесь натриевых солей моно-, ди- и триизобутилнафталинсульфокислот. В основном состоит из диалкилпроизводных

$$(изо\text{-}C_4H_9)_2C_{10}H_5SO_3Na$$

Полярная группа – SO_3Na. Неполярная часть – циклические и алифатические углеводородные радикалы. По внешнему виду это нерасслаивающаяся паста, в которой содержится 20–40% влаги.

Лаурилсульфат натрия – общая формула $ROSO_3Na$, где $R = C_9–C_{15}$. Это наиболее дешевый пенообразователь. Заметим, что лаурилсульфаты калия дают пену более высокой кратности (почти втрое) по сравнению с натриевыми солями. Парктическое применение находят также продукты нейтрализации лаурилсульфата триэтаноламином.

Оксиэтилированный лаурилсульфат натрия – продукт конденсации оксида этилена и жирных спиртов $C_{12}–C_{14}$ с последующей обработкой хлорсульфоновой кислотой и нейтрализацией NaOH. Установлено, что с увеличением числа атомов углерода в молекуле спирта растворимость в щелочной среде понижается; наибольший практический интерес представляют более доступные спирты с нечетным числом атомов углерода в молекуле ($C_9–C_{15}$).

Пенообразователи ПО-1 и ПО-1А – жидкости от желтого до коричневого цвета, без осадка и посторонних включений.

ПО-1 получают путем нейтрализации керосинового контакта. Содержит не менее 45% сульфокислот. Для обеспечения высокой кратности и стойкости пены в состав вводят 3,5–5,5% костного клея и 10% этилового спирта или этиленгликоля.

ПО-1А – смесь алкилсульфатов натрия на основе сернокислых эфиров вторичных спиртов с числом атомов углерода в алкильном радикале от 8 до 18. Содержание активного вещества не менее 20%.

Эти пенообразователи предназначены для получения огнегасительной пены. При использовании генераторов высокократной пены (такими установками оборудованы пожарные автомобили) из 2–5%-ных водных растворов

этих пенообразователей получается стойкая пена с кратностью 70–150. Такая пена хорошо тушит горящие нефтепродукты.

Вещество «Прогресс» – смесь натриевых солей сернокислых эфиров вторичных спиртов с числом углерода в алкильных радикалах от 6 до 16. Служит детергентом в ряде синтетических моющих средств, выпускаемых отечественной промышленностью.

Соли алкиламинов и соли четырехзамещенного аммония – эти катионоактивные вещества получают на основе аминов разной степени замещения, четвертичных аммониевых и других азотсодержащих оснований (гидразины, гуанидин, гетероциклические соединения).

$RNH_2 \cdot HCl$ – хлористоводородная соль алкиламина, где R – углеводородный радикал от $C_{10}H_{21}$ до $C_{20}H_{41}$;

$RR'R''R'''NCl$ – соль четырехзамещенного аммония, где R – длинный углеводородный радикал с 12–18 атомами углерода, а $R'R''R'''$ – короткие углеводородные радикалы (CH_3 или C_2H_5).

ОП-7, ОП-10, синтанол ДС-10 – вещества неионогенного типа. Все они – продукты взаимодействия фенола, алкилфенолов или высших жирных спиртов C_{10}–C_{18} с несколькими молями этиленоксида по реакции

$$ROH + nH_2\underset{\diagdown O \diagup}{C-C}H_2 \rightarrow R(OCH_2CH_2)_nOH$$

где R – углеводородный радикал от $C_{10}H_{21}$ до $C_{20}H_{41}$.

Кремнийорганические соединения – характеризуются высокой поверхностной активностью, некоторые из них могут быть использованы в качестве пенообразователей при получении водостойких материалов. Самыми распространенными соединениями этого класса в отечественной практике являются этилхлорсиланы (ГКЖ-94), метил- и этилсиликонаты (ГКЖ-10 и ГКЖ-11).

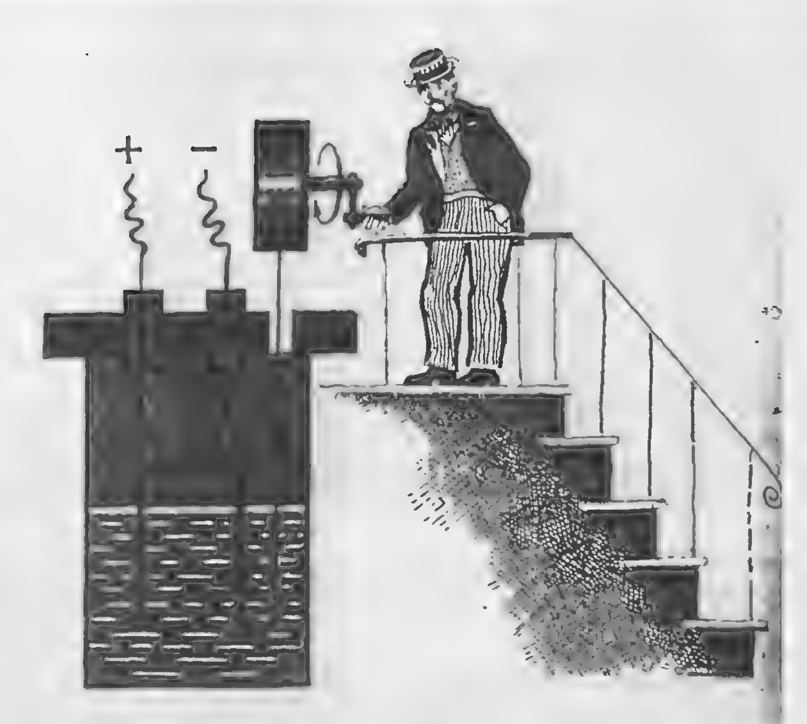
Разработка новых синтетических поверхностно-активных веществ ведется более чем в десяти академических и отраслевых научно-исследовательских институтах страны. Создаются ПАВ с комплексом специально заданных свойств, которые помимо высокой пенообразующей способности должны обладать низкой токсичностью и слабой физиологической активностью, высокой биоразлагаемостью и многими другими важными для практики свойствами.

НЕСКОЛЬКО СЛОВ О ТОНКИХ ПЛЕНКАХ

Химическим или электрохимическим способом на любую твердую поверхность можно нанести тончайший слой металла. Можно создать тончайшую жидкую пленку на поверхности твердого тела или на поверхности другой жидкости, например масла на воде. Эти пленки ограничены с двух сторон разными фазами (воздух – металл, воздух – жидкость).

Если в жидкости сближать две капли ртути, то между ними формируется тончайшая жидкая пленка. Проволочное металлическое кольцо малого диаметра, извлеченное из раствора, затянуто изнутри пленкой жидкости, которая с двух сторон граничит с воздухом. Для получения и изучения таких тонких пленок используют простые механические устройства.

Двигатель с постоянным числом оборотов медленно извлекает рамочку из раствора ПАВ с помощью тончайшего тросика, переброшенного через шкив. На рисунке



С помощью такого устройства получают пленки из раствора ПАВ. Поднимаем рамку или понижаем уровень раствора.

показаны электроды, с помощью которых можно подать импульс электрического тока (например, при изучении кинетики разрыва пленки). Аналогичную конструкцию имеет прибор для изучения электропроводности пленок.

Получаемые таким образом пленки ограничены с двух сторон одинаковыми фазами. Их так и называют – двухсторонние. Извлеченные из растворов ПАВ, они в определенной степени моделируют стенки отдельных пузырьков в пене. Не следует упускать из виду, что моделирование это не полное; в пузырьках пены давление больше, чем в окружающей пену среде. И еще: внутри пузырька концентрация водяных паров значительно выше, чем в воздухе. Двухсторонние пленки как из водных, так и из неводных (органических) растворов приковывают к себе внимание ученых. Пленка, как показали многочисленные исследования, состоит из двух поверхностных слоев и внутреннего однородного слоя, представляющего собой маточную жидкость, из которой эта пленка получена. Концентрация ПАВ в поверхностных слоях значительно выше, чем в маточном растворе. Поэтому свойства наружных и внутреннего слоев различны.

Наиболее вероятной моделью такой пленки можно считать «сэндвич», в котором имеется два поверхностных слоя толщиной *а* и прослойка *б*. Слои *а* состоят из органической фазы с показателем преломления 1,45. Для слоя *б* его считают равным 1,333, т. е. как для воды. Трехслойная модель позволяет многое объяснить сравнительно просто, и в частности процесс образования так называемых черных пленок.

Из среднего слоя пленки жидкость постепенно вытекает, и два поверхностных слоя сближаются. В результате пленка будет состоять из двух поверхностных слоев, которые, взаимодействуя между собой, придают пленке особую устойчивость. Такие предельно утонченные пленки называют черными; их толщина составляет примерно 50 Å (5 нм). Процесс образования черных пленок происходит скачкообразно и состоит в появлении отдельных черных пятен на сравнительно толстой пленке. Затем по мере вытекания жидкости из среднего слоя отдельные пятна сливаются, образуя сплошную черную пленку.

Под микроскопом легко наблюдать появление черных пятен при утончении мыльных пленок до 4–10 нм; черный цвет пятен обусловлен взаимным гашением падающего и отраженного света. Появление черных «дыр» на мыльных пузырях наблюдал еще Ньютон.

Черные пленки в пенах появляются не всегда. Они образуются лишь при определенной концентрации ПАВ в растворе и определенной кратности пены. Большое зна-





Это «бутерброд», он же «сэндвич».

чение имеют вид поверхностно-активного вещества и условия хранения пены. Из черных пленок жидкость уже не вытекает, и причиной их разрыва является образование дырок. Однако немедленный разрыв совсем не обязателен. Некоторым исследователям удавалось при определенных условиях сохранять черные пленки годами. Одним из таких удачливых экспериментаторов был Дьюар, с именем которого связано изобретение двухстенных сосудов для хранения сжиженных газов (термосы).

Черные пленки можно получить не только из водных растворов ПАВ. Они образуются в неводных углеводородных пенах, в белковых пленках.

Исследования черных углеводородных пленок – одна из «молодых» отраслей физико-химической науки, она насчитывает всего четверть века. Авторы единственной монографии по этим вопросам П. М. Кругляков и Ю. Г. Ровин отмечали еще несколько лет назад, что «количество публикаций, посвященных черным углеводородным пленкам, неуклонно растет и уже превысило тысячу». Расскажем в связи с этим чуть подробнее об углеводородных пленках.

Все, кому приходилось иметь дело с керосином, знают, что при самом небольшом встряхивании на поверхности возникают пузырьки, которые переливаются всеми цветами радуги, подобно той, какую мы видим на поверхности влажного городского асфальта. Происхождение этих «радуг» одинаковое: интерференция солнечного света в тонких углеводородных пленках.

Но, как помнит читатель, получить стойкую пену из чистой воды нельзя. Почему же вспенивается керосин, но не дает пены бензол или чистый этиловый спирт? Дело в том, что чистая вода, бензол, спирт – индивидуальные вещества, а керосин – это смесь различных углеводородов, и некоторые из них обладают свойствами ПАВ. Но это поверхностно-активные вещества, растворимые только в углеводородах (так называемые маслорастворимые ПАВ). Они-то и предопределяют пенообразование в керосине, бензине, а тем более в нефти.

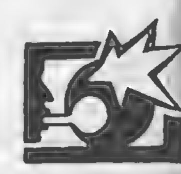
Изучение структуры углеводородных пленок имеет большое значение в теории эмульсий (эмульсии типа «масло в воде» и «вода в масле»). Эти эмульсии широко применяют в виде водоэмульсионных красок, водорастворимых органических пластификаторов, клеев и других продуктов, используемых в технике и в быту.

Черные углеводородные пленки образуются и «живут» так же, как черные пленки из водных растворов ПАВ, но они, как правило, более устойчивые и более тонкие. Специалисты считают, что толщина черной углеводородной пленки равна двум длинам углеводородного радикала в молекулах. Так, для четыреххлористого углерода толщина пленки составляет 4 нм. В принципе по толщине этих пленок можно косвенно оценивать длину углеводородных радикалов в молекулах веществ, из которых пленка образована.

Черные пленки, состоящие из белковых соединений, входят в структуру клеток всех живых организмов. По современным представлениям, старение – это необратимые изменения в организме на клеточном уровне,

в том числе и в черных пленках. Поэтому геронтологи (геронтология – раздел физиологии, изучающий процессы и явления, связанные со старением организма) начали всесторонне изучать такие черные пленки. Известный специалист по вопросам структурирования белковых систем доктор химических наук В. Н. Измайлова с сотрудниками установили, что белки в черных пленках претерпевают превращения. Изучение их структуры, а также вида и кинетики превращений может иметь чрезвычайно важное значение для объяснения многих биологических процессов, влияющих на развитие болезней и старение. И, несомненно, полная расшифровка структуры черных пленок, условий их образования и распада может способствовать направленному получению устойчивых пен из углеводородных композиций.

РОЖДЕНИЕ И СМЕРТЬ ПЕНЫ



КАК ПОЛУЧАЮТ ПЕНУ?

Читатель уже знает, и не только по нашему описанию, как возникают мыльные пузыри; он и сам не раз получал пену дома, когда мылся или стирал, готовил безе или омлет. А как это делают на производстве, как, например, приготовить сотни и тысячи литров пены в считанные минуты при пожаре, какие для этого нужны аппараты?

Пена, как и любая дисперсная система, может быть получена двумя способами: объединением очень мелких (микроскопических) газовых пузырьков в более крупные (*метод конденсации*) или дроблением крупных воздушных пузырей и включений на более мелкие, а следовательно, и более устойчивые (*метод диспергирования*). В первом случае будущая газовая фаза первоначально присутствует в виде отдельных молекул, из которых затем образуются пузырьки. Типичный пример – пивная пена. Диоксид углерода (углекислый газ), возникающий при приготовлении (брожении) пива, растворен в жидкой фазе; когда давление на жидкость резко снижается (при откупоривании бутылки), раствор становится пересыщенным и излишки растворенного газа образуют газовую фазу. Многие твердые пены, получившие теперь широкое применение,– продукт конденсационного вспенивания. Для этого в массу вводят специальные добавки, выделяющие в ходе химической реакции газ.

Конденсационный метод почти мгновенного вспенивания служит наглядной иллюстрацией закона газового состояния: при повышении давления или понижении температуры растворимость газа в жидкости увеличивается (закон Генри). Если снизить давление или повысить температуру, то газ сразу начнет выделяться и вспенит жидкость. На этом «эффекте открывания бутылки» основан один из методов вспенивания. В жидкости, подлежащей очистке от твердых частиц, сначала под давлением растворяют газ и добавляют ПАВ. Жидкость переливают в другой резервуар с пониженным давлением, растворенный газ высвобождается и, вспенивая воду, уносит с пузырьками загрязнения.

Таким образом, конденсационный способ пенообразования можно осуществить по трем различным схемам:

изменением параметров физического состояния системы, например понижением давления над раствором, повышением температуры раствора или введением в раствор веществ, уменьшающих растворимость газов; во всех этих случаях растворенный в жидкой фазе газ начинает выделяться из жидкости и вспенивает ее;

в результате химических реакций (основные из них–

взаимодействие соды с кислотой, пероксида водорода с перманганатом калия, разложение карбоната аммония); при этом выделяется диоксид углерода или кислород;

использованием микробиологических процессов, сопровождающихся выделением газов, чаще всего CO_2.

Конденсационные методы широко применяют при изготовлении хлеба и кондитерских изделий, при производстве пенопластмасс, в бытовых огнетушителях, в технологии газобетона и пенометалла.

Диспергационный метод основан на получении пены в результате дробления и распределения воздуха или газа в растворе с пенообразователем. Обычно небольшие порции газа вводят в раствор и дробят их там до размеров мелких пузырьков. Легче всего этого добиться, продувая газ через трубку, опущенную в жидкость. Таким образом могут быть получены монодисперсные пены (т. е. пены, состоящие из пузырьков одинакового размера). Итак, можно продувать воздух, предварительно раздробленный на струйки, через жидкость. Можно перемешивать воздух и жидкость какими-либо мешалками. Можно встряхивать, взбивать, переливать. Иногда орошают жидкостью металлическую сетку, через которую принудительно подают газ.

В промышленности для получения пены диспергационным методом используют следующие принципы:

прохождение струй газа через жидкость в аэрационных и барботажных установках, в аппаратах с «пенным слоем», в пеногенераторах с сеткой, орошаемой раствором с пенообразователем;

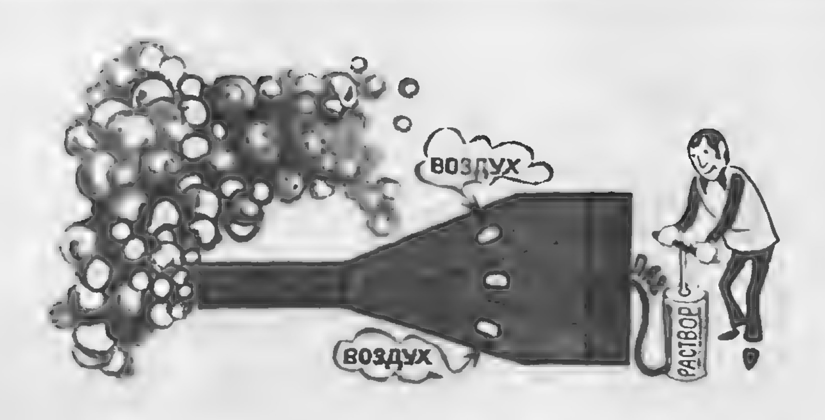
действие движущихся устройств на жидкость или движущейся жидкости на преграду (в технологических аппаратах с быстроходными мешалками; при взбивании, встряхивании, переливании растворов);

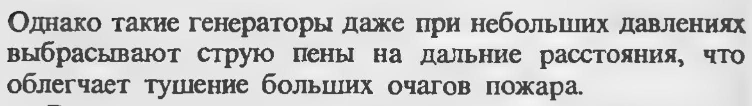
эжектирование (от французского *ejection – выбрасывание*) воздуха движущейся струей раствора (в пеногенераторах).

В химической и пищевой промышленности наиболее распространены различные варианты движущихся устройств, которые при вхождении в жидкость вовлекают в нее воздух и при последующем движении дробят этот воздух на отдельные мелкие пузырьки. Так работают различного рода мешалки с двух- и многолопастными смесителями – крыльчатками, винтовыми и сетчатыми лопастями и т. д.

При вхождении в жидкость лопасть оставляет в поверхностном слое воздушный след. Устье этой воздушной каверны захлопывается, и большая порция воздуха оказывается вовлеченной в раствор. Это явление наглядно иллюстрируется кадрами скоростной киносъемки. Лопасть заменили металлическим шариком, свободно падающим в воду. Хорошо видно, как опускается шарик, а за ним остается воздушный конус. Над водой от удара шарика о поверхность жидкости возникает водяная корона, верхняя часть которой сужается и в конце концов захлопывается. Воздушный пузырь оказывается в плену. Такой способ пенообразования прост и легко реализуется в любом технологическом процессе.

Наиболее мощные и эффективные установки диспергационного пенообразования разработаны для пожаротушения. Они столь надежны и производительны, что ими широко пользуются в самых разных отраслях народного хозяйства. Применяют в основном две группы устройств. К первой относятся воздушно-пенные стволы, работающие по принципу соударения струй: раствор пенообразователя под давлением выбрасывается из отверстий, расположенных под углом друг к другу, вследствие чего струи сталкиваются, дробятся и перемешиваются, захватывая воздух из окружающей среды. Пена, образующаяся в результате интенсивного перемешивания раствора и воздуха, выбрасывается через трубу, называемую стволом. Такая пена характеризуется малой кратностью и неоднородностью структуры, поэтому она нестойка.

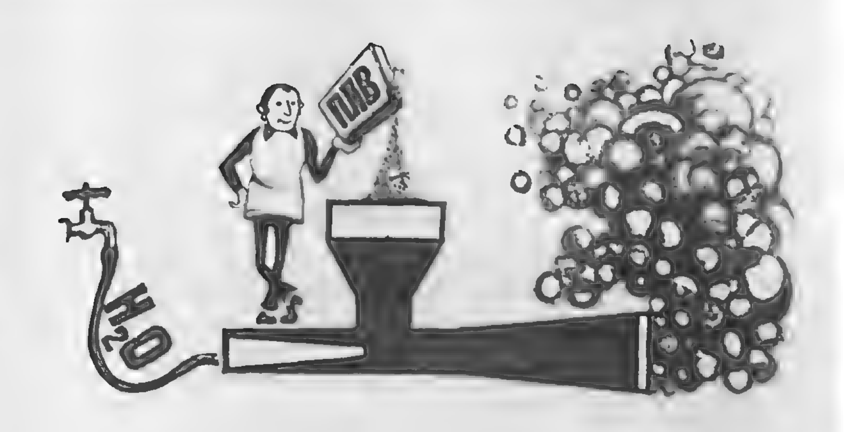




Однако такие генераторы даже при небольших давлениях выбрасывают струю пены на дальние расстояния, что облегчает тушение больших очагов пожара.

В пеногенераторах второй группы вспенивание происходит на сетках. Раствор пенообразователя под давлением выбрасывается из распылителя, попадает в виде капель на ячейки сетки и смачивает их. Поток воздуха, подаваемого вентилятором или эжектором, выдувает на ячейках сетки пузырьки пены. Эти пузырьки отрываются от сетки и образуют пену с мелкими однородными порами – пену громадной кратности (1000 и более) и высокой стойкости. Такие пеногенераторы производят до 15 000 л пены в секунду, а дальность полета струи достигает 8–12 м.

Известны и другие конструкции пеногенераторов. На верхнем рисунке показано устройство для получения больших количеств пены за счет всасывания воздуха струей пенообразующего раствора; ниже приведена схема пеногона, в котором струя воды создает разрежение и всасывает порошок пенообразователя. Он растворяется в этой воде, и раствор при выходе, разбиваясь о сетку, создает пену.



Диспергационные способы получения пен используют при тушении пожаров, в производстве некоторых строительных материалов, при стирке, флотации, очистке сточных вод, во многих технологических процессах.

Еще один путь получения пен открывает электрохимия. При электролизе воды на аноде выделяется кислород, а на катоде – водород. Этот метод используют в электрофлотации. Пена возникает за счет пузырьков газа, выделяющегося на электродах, и ПАВ, вводимого в раствор.

В настоящее время в технике пенные системы готовят в основном диспергационными способами. Во всем мире непрерывно ведется разработка более эффективного оборудования для производства пены.

Для повышения кратности пены увеличивают интенсивность взбивания раствора пенообразователя и используют более совершенные типы пеногенераторов. Однако дальнейшее совершенствование процесса получения пены с заданными свойствами, по нашему мнению, состоит не в разработке новых способов, а в синтезе новых пенообразователей.

ЖИЗНЬ ПЕНЫ

Мы уже говорили, что качество пены оценивают с помощью множества различных показателей. Главное при выборе того или иного критерия – это назначение пены. В пожарной технике главный параметр качества – изолирующая способность пены, при производстве строительных материалов – теплопроводность и прочность затвердевшей пены, в пищевой промышленности – пенообразующая способность растворов (вспениваемость) и дисперсность пены.

Но есть показатель, который важен независимо от того, для какой именно цели приготавливается пена, показатель, определяющий возможность использования пен в различных сферах деятельности человека. Это их *устойчивость*. Ведь короткоживущие пены просто невозможно применять.

Устойчивость пен прямо связана со свойствами тонких слоев жидкости, они-то и определяют структуру пены. Основополагающая роль в исследовании таких тонких слоев принадлежит известному советскому ученому Б. В. Дерягину. Вместе с академиком Л. Д. Ландау он разработал общую теорию устойчивости растворов и дисперсных систем. Как это часто бывает в науке, параллельно и независимо от них теоретической проработкой этой проблемы занимались и за рубежом – Фервей (Verwey) и Овербек (Overbeek). По начальным латинским буквам фамилий четырех ученых эта теория во всем мире сокращенно обозначается DLVO.

Устойчивость пены – это показатель, характеризующий продолжительность существования всего первоначального объема пены. Чтобы количественно оценить устойчивость пены, определяют скорость ее разрушения. Для устойчивых пен – это время, за которое разрушается 20% первоначального объема, для неустойчивых – время, за которое пена разрушается полностью. Используют

также метод измерения «жизни» отдельного пузырька или пленки.

Пены разрушаются самопроизвольно или под влиянием внешних факторов (температура, давление, механические воздействия). Как всякая дисперсная система, пена неустойчива. Возникнув, она не сохраняется в первоначальном виде. Из пены вытекает жидкость, и пена из «мокрой» становится «сухой». Воздух из одних пузырьков перетекает в другие, изменяются размеры и форма пузырьков. Во всех пенах происходят три основных процесса, приводящие постепенно к разрушению: перераспределение размеров пузырьков, уменьшение толщины пленки, разрыв пленки.

Эти процессы быстро разрушали бы пены, если бы не *стабилизирующие факторы*. Этих факторов три: *кинетический*, *структурно-механический* и *термодинамический*.

Кинетический фактор замедляет процесс утончения пленок, а следовательно, способствует повышению жизнеспособности пен. Необходимо, правда, отметить, что кинетическое действие заметно проявляется только в малоустойчивых пенах. Кинетический фактор часто называют *эффектом самозалечивания*, или *эффектом Марангони*. Суть его в том, что утончение пленки вследствие истечения жидкости под действием сил гравитации или всасывания ее через границы Плато (подробнее об этом – в следующем разделе) происходит неравномерно. Отдельные участки пленки вокруг пенного пузырька становятся очень тонкими и способны разрушаться. В таких локальных тонких участках поверхностное натяжение возрастает, так как расстояние между молекулами ПАВ в поверхностном слое увеличивается. Вследствие этого раствор с повышенной концентрацией ПАВ из зоны низкого поверхностного натяжения, т.е. из участков с утолщенной пленкой, устремляется к истонченным зонам. Истонченные участки пленки самопроизвольно «залечиваются». Время, за которое совершается такое перетека-

ние раствора, измеряется сотыми и даже тысячными долями секунды, поэтому вероятность разрыва пленки понижается, и устойчивость возрастает.

Подтверждением этому служат наблюдения Дюпре: твердые вещества (свинцовая дробь) и капли жидкости (ртуть) могут пройти через пленку пены, не оставив дыры и не вызвав разрыва. Однако после длительной сушки пленки (высыхание пены), когда количество жидкости в ней сильно уменьшилось и перетекание раствора ПАВ становится невозможным, каждый такой «снаряд» вызывает разрыв.

Скорость поверхностного переноса ПАВ зависит от значения поверхностного натяжения раствора поверхностно-активного вещества и разности концентраций в тонком и утолщенном участках пленки.

В очень тонких пленках (состоящих из двух адсорбционных слоев) эффект «залечивания» проявляется слабо, что, конечно же, понижает стабильность пен.

Структурно-механический фактор стабилизации пен связан со специфическим упрочнением тонких пленок за счет гидратации адсорбционных слоев, а также за счет повышения вязкости межпленочной жидкости.

Взаимодействие полярных групп молекул ПАВ с водой (гидратация) ограничивает истечение межпленочной жидкости из среднего слоя «сэндвича» пленки под действием сил тяжести и капиллярных сил. В само́м адсорбционном слое гидратированные молекулы ПАВ сцепляются между собой, в результате повышается прочность на растяжение и адсорбционных слоев, и пленки в целом.

Для повышения вязкости межпленочной жидкости к ПАВ добавляют определенные продукты: например, в присутствии тысячных долей процента жирного спирта вязкость растворов ПАВ увеличивается в десятки раз.

Термодинамический фактор, или, что то же самое,– *расклинивающее давление* проявляется в тонких пленках,

когда возникает избыточное давление, препятствующее их утончению под действием внешних сил. Появление расклинивающего давления при истечении из пленок жидкости Б. В. Дерягин и Л. Д. Ландау объясняют следующим образом. На коллоидных частицах поверхностно-активных веществ всегда присутствуют жидкие оболочки повышенной вязкости и упругости. Эти оболочки создают механический барьер, препятствующий сближению и слипанию частиц при утончении пленок за счет истечения жидкости. Кроме того, в водном растворе электролита между поверхностями одноименно заряженных частиц действуют силы отталкивания. Оба эти явления и обусловливают расклинивающее давление в пленке.

Один из примеров проявления расклинивающего давления – отталкивание двойных электрических слоев, образованных молекулами пенообразователя в пленке мыльного пузырька. Такое отталкивание было зафиксировано в опытах Б. В. Дерягина и А. С. Титиевской при сжатии двухсторонних пленок: два пузырька с помощью стеклянных рамок приводились в соприкосновение. Об изменении толщины стенок пузырьков судили по цветовой интерференции пленки. Стабильность цвета указывает на неизменность толщины образовавшейся пленки и наличие расклинивающего эффекта.

Расклинивающее давление П легко рассчитать по уравнению

$$П \doteq P_2 - P_1$$

где P_2 и P_1 – давление на пленку со стороны фаз, между которыми она находится, и давление внутри пленки, соответственно.

Если P_2 больше P_1, пленка утончается; если P_2 меньше P_1, пленка утолщается, при P_2 равном P_1 пеносистема устойчива длительное время.

Расклинивающее давление зависит от толщины слоя, вида ПАВ и его концентрации, общего давления в систе-

ме, диаметра пузырьков в пене. При положительном расклинивающем давлении время жизни пленки существенно возрастает и при соответствующих условиях может стать неограниченно большим.

Нестабилизированные двухсторонние пленки непрерывно утончаются. Об этом свидетельствует изменение окраски. Сначала пленка толстая, и отчетливо видно, как из нее вытекает жидкость. Особенно это заметно при горизонтальном положении самой пленки. В центре постепенно собирается капля жидкости, которая своей тяжестью может разрушить эту пленку. Находясь в вертикальном положении, пленка постепенно утончается, становится окрашенной, а затем окраска исчезает. Это значит, что ее толщина стала меньше длины волны видимого света.

Процесс изменения цвета пленки идет с угасающей скоростью – сначала быстро, а затем все медленнее. Когда толщина пленки становится меньше 10 нм, она темнеет, и окраска почти исчезает. Получается черная пленка, которая может существовать значительное время при благоприятных внешних условиях (отсутствует испарение и механические сотрясения, исключено попадание пыли и тепловых потоков).

Напомним читателю, что продолжительность жизни пены зависит от множества факторов – вида и концентрации ПАВ, кратности пены, ее температуры, дисперсности, наличия стабилизаторов и т. д.

Как правило, устойчивость пен из растворов анионоактивных ПАВ выше, чем пен из катионоактивных и неионогенных растворов. При увеличении концентрации пенообразователей стабильность пен повышается. Влияние температуры на устойчивость пен неоднозначно и для разных ПАВ и разных условий существования пены проявляется неодинаково. Одно неоспоримо: введение стабилизаторов в растворы пенообразователей всегда повышает устойчивость пен.

Стабильность пены зависит также и от ее дисперсности. Приближенным показателем дисперсности может служить средний диаметр газовых пузырьков в пене. В зависимости от назначения в промышленности получают пены со средним диаметром пузырьков от 0,03 мм до 1,5–2 см.

Как правило, чем выше дисперсность пены, т. е. чем меньше размер пузырьков, тем выше ее устойчивость.

Важно отметить, что размеры воздушного пузырька уже на стадии его зарождения оказывают существенное влияние на процесс образования пены и ее устойчивость. Своеобразную картину формирования воздушного пузырька выявил с помощью скоростной киносъемки советский исследователь Я. Е. Гегузин. На дне стеклянного сосуда, заполненного водой, создавали воздушные пузырьки разных размеров при помощи воздухоподводящих стеклянных капилляров диаметром 10, 3 и 1 мм. Независимо от размера капилляра от конца трубки отрывается и начинает движение в воде пузырек сферической формы. Сфера большого диаметра (10 мм) быстро деформируется: нижняя поверхность пузырька устремляется к верхней и слипается с ней; такой пузырек продолжает стремительно двигаться вверх, приобретая форму конуса. В процессе всплывания вершина этого конуса прорывается и воздушная полость приобретает форму бублика.

Пузырек, оторвавшийся от трехмиллиметровой трубки, на всем пути всплывания сохраняет форму конуса, не превращаясь в бублик; от тонкого (1 мм) капилляра отрывается сферический пузырек, при подъеме не изменяющий своей формы. У бублика и конуса поверхность больше, чем у сферы, что энергетически невыгодно; следовательно, устойчивость пузырьков такой формы понижена.

В ходе исследований обнаружено также, что, всплывая, пузырьки совершают колебательные движения. Амплитуда этих колебаний тем больше, чем крупнее



Так происходит формирование и деформация воздушного пузырька.

пузырек. У самого крупного амплитуда оказалась настолько большой, что при первом же колебании пузырь прорвался.

Кинокадры позволили объяснить это явление. Вода снизу устремляется в объем оторвавшегося пузыря. В этом месте давление воды максимально. В результате между верхней и нижней поверхностями пузыря появляется разность давлений, и его форма искажается. Чем больше диаметр пузыря, тем эта разность давлений больше, тем сильнее деформации. Деформированный пузырек стремится уменьшить собственную поверхность и восстановить сферическую форму, что и приводит к возникновению колебаний.

Таким образом, чем больше диаметр пузырька, тем сильнее его форма отличается от сферической, тем выше амплитуда колебаний и больше скорость всплывания. Все эти факторы «работают в одну сторону» – снижают «жизнеспособность» единичного пузырька, ухудшая тем самым условия пенообразования.

Кинокамера дала возможность проследить весь путь движения пузырька в жидкости. Крупный пузырь вздувается над поверхностью воды, и образуется большое полусферическое покрытие из тонкой водяной пленки – неустойчивой и быстро разрушающейся. Пузырь меньшего размера оказывается более жизнеспособным: его форма меняется в сторону равновесной. Пока жидкость стекает с верхней части пузыря к подножию, он живет. Маленькие пузырьки, прикасаясь к границе раздела жидкость – воздух, лишь немного деформируют поверхность и, почти полностью находясь в воде, сохраняются долго.

Устойчивость пены зависит также от кислотности среды и присутствия солей в растворах пенообразователей. В жесткой воде кратность и устойчивость пены невысока, в морской воде она совсем низкая. Для повышения пенообразования в таких водах приходится или увеличивать концентрацию ПАВ (особенно хорошо это видно на примере мыла: белесые хлопья, образуемые мылом в жесткой воде,– это результат «борьбы» мыла с солями жесткости), или вводить в воду умягчители. В качестве таковых используют соду, растворимые соли фосфорной кислоты, растворимое стекло, некоторые органические соединения.

Совместными усилиями химиков, технологов и механиков созданы новые ПАВ и стабилизаторы, а также разработана технология пенообразования, позволяющая получать высокократные пены, «время жизни» которых измеряется многими сутками. Для специальных целей производят пены, которые живут без заметного разрушения 4–5 месяцев. А если использовать в качестве стабилизаторов полимерные смолы, можно создать пены, срок жизни которых составляет годы.

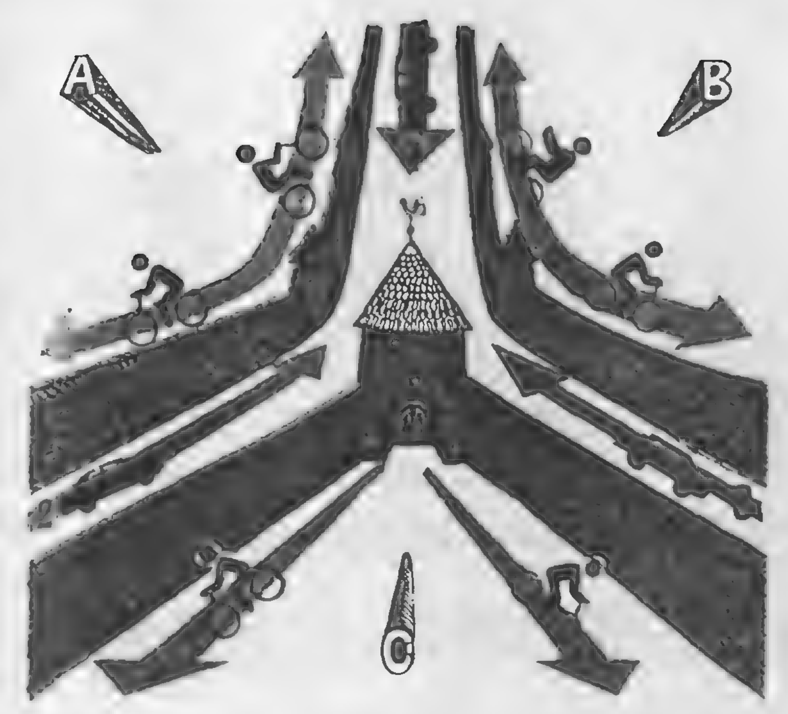
ГИБЕЛЬ ПЕНЫ

Непрочен, как пена; развеялось, как пена; радужна, как пена,– много подобных выражений мы повседневно употребляем в разговоре, чтобы подчеркнуть недолговечность какого-то мероприятия, желания или гипотезы.

Да, мыльный пузырек или пена по своей природе нестабильны и склонны к самопроизвольному разрушению. Эта нестабильность объясняется избытком поверхностной энергии, пропорциональной поверхности раздела газ–жидкость. Минимальное значение свободной энергии, соответствующее моменту равновесия, достигается при полном разделении пены на две фазы: жидкость и газ,– т. е. при разрушении пены. Таким образом, пузырьки пены и пленки пены лопаются потому, что площадь (и, следовательно, поверхностная энергия) полученной капли (или капель) меньше площади первоначальной системы. Например, у пузырька, имеющего радиус 1 см и толщину стенок 10^{-3} см, площадь поверхности равна приблизительно 25 $см^2$, и если он вызовет образование только одной капли, то поверхность ее будет около 0,1 $см^2$. Разность энергий так велика, что, когда пленка лопается, образовавшаяся капелька жидкости летит со скоростью 1000 см/с.

Мы уже говорили, что пена разрушается в результате истечения жидкости из пенных пленок, диффузии газа из одних пузырьков в другие и разрыва отдельных пленок внутри пены. Структура пены предопределяет, какой из этих процессов будет наиболее разрушительным. Так, в пенах с толстыми стенками происходит интенсивное истечение жидкости из пленок, а в пенах высокой кратности (тонкостенных), а также в пенах, образованных вязкими жидкостями, разрушение вызывается в первую очередь диффузией газа.

Истечение жидкости и утончение пленок начинается



Сложный перекресток, или схема действия кинетического фактора устойчивости пены.

уже в процессе пенообразования. Этот процесс вызывается действием сил гравитации и капиллярных сил всасывания. Жидкость истекает из пены по так называемым каналам Плато (названы по имени известного бельгийского ученого J. Plateau, много занимавшегося исследованием устойчивости дисперсных систем). Эти каналы возникают в месте стыка пленок, принадлежащих трем соприкасающимся в плоскости пузырькам. В одной точке сходятся четыре канала Плато, образуя одинаковые углы в 109°28′. Эти каналы пронизывают всю структуру пены, представляя собой взаимосвязанную систему. На рисунке

A, *B* и *C* – это соприкасающиеся пузырьки, а *1*, *2* и *3* – разделяющие их пленки жидкости. Система будет равновесной лишь при условии, что все три угла в одной плоскости равны 120°. Деформированные пузырьки воздуха в пене имеют форму пятиугольного додекаэдра – трехразмерной фигуры, образованной двенадцатью равносторонними пятиугольниками; внутренние углы в такой фигуре равны 120°, поэтому такая конструкция имеет повышенную жесткость.

Процесс истечения жидкости из пены под действием гравитационных сил называют *дренированием*. Если сосуд наполнить пеной и оставить на некоторое время, то постепенно на дне собирается слой жидкости, который будет расти до тех пор, пока в пленках пены не останется совсем мало жидкости (или пока пленки не лопнут).

Истечение жидкости из пены может происходить и вследствие капиллярного всасывания (всасывание через границы Плато). Стенка между соприкасающимися пузырьками одинакового размера в пене плоская, это своего рода плоский капилляр, поэтому жидкость, заполняющая стенку, находится под таким же давлением, как и газ в этих двух пузырьках. Однако поверхность раздела жидкость – воздух близ места соединения трех пузырьков (граница Плато) вогнута по отношению к воздушной фазе. Следовательно, жидкость на границе Плато находится под отрицательным капиллярным давлением и перепад давления гонит жидкость из плоской стенки между пузырьками к границе Плато. Этот перепад давления обычно значительно больше перепада давления воздуха в двух смежных пузырьках.

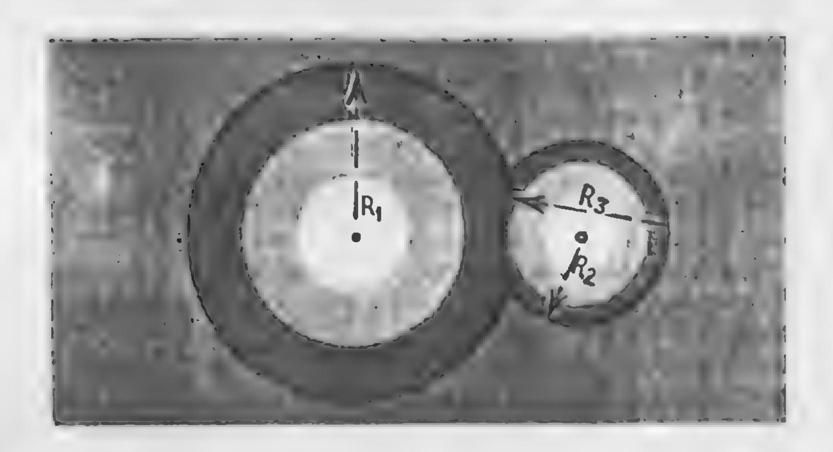
При истечении жидкости под действием капиллярных сил поверхностные слои пленок либо растягиваются, либо сжимаются. При растягивании пленки упаковка молекул ПАВ становится менее плотной и на некоторых участках пленки поверхностное натяжение увеличивается. В результате появляются ослабленные участки, которые

мгновенно восстанавливают свою толщину и прочность под действием эффекта Марангони. (Об этом эффекте мы уже рассказывали, анализируя кинетический фактор устойчивости пены.) Оба эти процесса – утончение пленок на отдельных участках пузырька и восстановление толщины пленки (хотя и не до первоначальной) – протекают одновременно, обеспечивая устойчивость пленок вплоть до достижения ими критической толщины (минимальная толщина пленки, когда она еще сохраняет устойчивость при отсутствии внешних воздействий). Пленки, достигшие критической толщины, становятся хрупкими и могут разрываться при слабом механическом воздействии (вибрация, воздушные потоки и т. д.).

Процесс истечения жидкости из пены очень сложен и не может быть описан простым математическим уравнением; используют комплекс уравнений, составленных при анализе тех или иных физических моделей, которые применяют для описания разрушения пены при истечении жидкости.

Интенсивное разрушение пены происходит и при диффузии газа из одних пузырьков в другие. Диффузионный перенос газов – это самопроизвольное перемещение молекул газа вследствие различного давления газа в пузырьках. В пене пузырьки имеют разные размеры.

В пузырьках малого диаметра давление газа (воздуха) больше, чем в крупных. Связано это с тем, что давление газа в пузырьке зависит от кривизны его стенок. Удобства ради будем рассматривать систему, состоящую только из двух пузырьков. На нашем рисунке изображены два пузырька, находящиеся в механическом равновесии. Разность давлений между ними компенсируется кривизной стенок пузырьков. Перегородка между этими двумя пузырьками должна быть выпуклой по отношению к меньшему, так как давление в нем больше, чем в крупном пузырьке. Механическое равновесие было бы стабильным, если бы перегородка была совершенно непро-



Большой растет за счет малого.

ницаемой для газа в пузырьках. Но это условие недостижимо, газ диффундирует через стенку из области высокого давления в область низкого давления, т.е. из пузырьков малых размеров в более крупные пузыри. В результате малые пузырьки уменьшаются и в конце концов исчезают, а большие растут, что, естественно, снижает их устойчивость в пене.

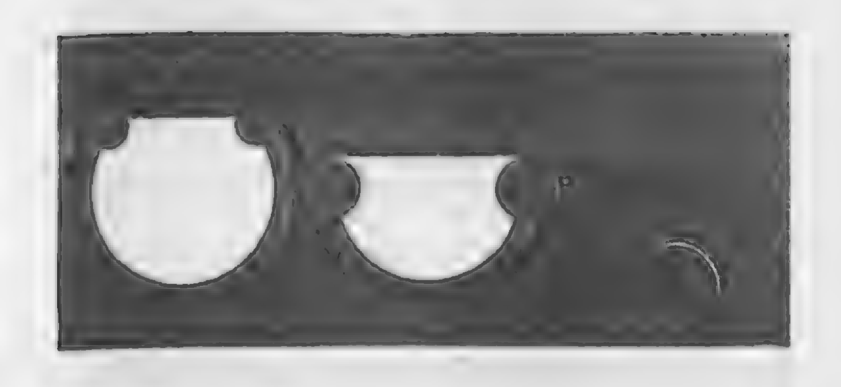
Чем больше различие в размерах пузырьков пены, тем сильнее проявляется диффузия, тем ниже стабильность пенной структуры.

Относительно скорости диффузии газа через стенку можно сказать, что эта величина связана с разностью давлений внутри пузырьков; она зависит также от присутствия в пене добавок (загустителей, электролитов) и даже от структуры молекул ПАВ – пенообразователей, так как именно они создают с двух сторон пузырька диффузионный барьер. В соответствии с законом растворимости газов (закон Генри) концентрация газа в пленке у поверхности малого пузырька выше, чем у большого. Под действием разности концентраций газ диффундирует через пленки. Количество газа, перемещающегося через пленку, прямо пропорционально коэффициенту диффузии газа и обратно пропорционально толщине пленки. Скорость переноса газа в целом определяется самой медленной из этих стадий. Поверхностно-активные вещества тормозят процессы растворения и выделения газов, наиболее медленной стадией будет диффузия, так что количество переносимого газа почти не зависит от толщины пленки.

Если диффузионный перенос газа оказывает существенное влияние лишь на «старение» очень устойчивой пены, то разрыв пленок и объединение пузырьков (*коалесценция*) одинаково важны для любой пены. Коалесценция пузырьков происходит в результате утончения пленок до определенной «критической» толщины и последующего местного (локального) прорыва пленки.

Разрыв пленки, по Б. В. Дерягину, включает три стадии: постепенное утончение всей пленки; скачкообразное появление отдельных участков меньшей толщины, чем толщина всей пленки; образование на этих участках отверстий, расширяющихся с большой скоростью.

При постепенном утончении пленок в результате истечения из них жидкости получаются тонкостенные пены, обладающие определенной устойчивостью (это связано с взаимным уравновешиванием сил всасывания в каналы Плато, сил притяжения и электростатических сил отталкивания в двойном электрическом слое истонченной пленки). При нарушении этого равновесия в пленке возникают очень тонкие участки с пониженной прочностью и пленка разрушается. При разрыве пленки в ее центральной части вначале появляется небольшое отверстие. Вдоль его контура пленка закругляется, и образуется водяной валик. Лапласова сила, в соответствии с законом, носящим его имя (Пьер Симон Лаплас – знаменитый французский астроном, математик и физик; жил во второй половине XVIII – первой четверти XIX века), заста-



Предполагаемая схема гибели пузырька.

вляет водный раствор пленки двигаться по радиусу от центра отверстия. При движении валика его масса возрастает и в конечном счете все тело пленки пузыря свернется в одну каплю. Подсчитано, что воздушный пузырь радиусом 1 см с толщиной пленки 10^{-3} см разрушится и превратится в каплю с момента нарушения его целостности всего за $5 \cdot 10^{-3}$ с, т.е. со скоростью, близкой к скорости взрыва. При этом вместо одной крупной капли (как это следует из представлений Лапласа) образуется множество капель-осколков. Акустическая и гидродинамическая волны, капли-осколки и другие явления, возникающие при разрушении единичного пузырька, нарушают устойчивость находящихся рядом пузырьков и способствуют их быстрому разрушению.

Немного математики. Время вытекания жидкости из пленки в пене можно рассчитать. Это позволит прогнозировать стойкость пены. При расчетах принимают определенные допущения: стенку пузырька пены рассматривают как капилляр с постоянным соотношением длины и сечения, а давление столба жидкости считают постоянным. Тогда для пен с малой кратностью и вязкостью время

вытекания τ может быть определено из уравнения

$$\tau = \frac{2V}{n(2 - kV)}$$

где V – объем жидкости, а n и k – постоянные, имеющие простой физический смысл и легко рассчитываемые теоретически.

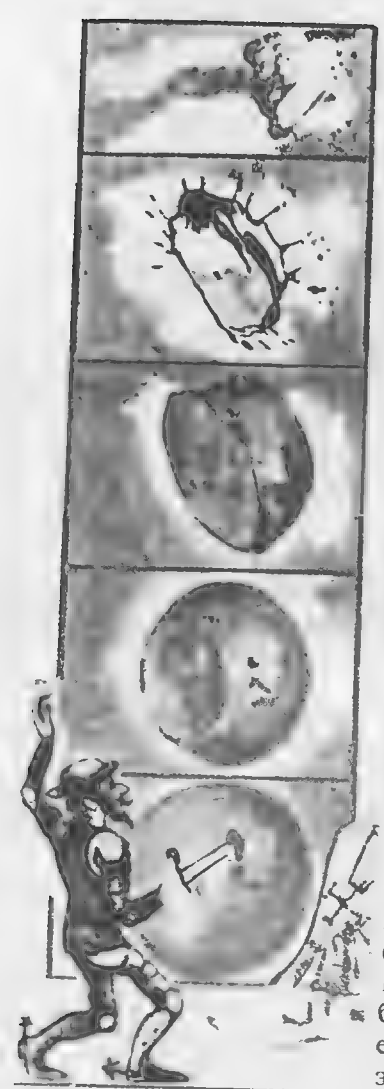
Уравнение оказалось справедливым для пен, получаемых в различных условиях (встряхивание раствора, продувание воздуха через пористый фильтр, интенсивное перемешивание и т.д.), а также для пен, содержащих стабилизаторы.

Рассчитать время вытекания жидкости из пленки можно достаточно точно, а вот прогнозировать стойкость пены на основе этих расчетов удается только приблизительно. Дело в том, что образование отдельных черных пятен по мере истечения жидкости из пленок еще не означает ее гибели. Некоторые черные пленки способны существовать несколько суток. Правда, это относится к пенам, изготовленным из растворов пенообразователей с добавками электролитов и веществ-загустителей (агар-агар, карбоксиметилцеллюлоза). Тонкими исследованиями, проведенными в последние годы, установлено, что добавки электролитов несколько меняют толщину пленки и ее термодинамические характеристики.

Говоря о гибели пены, необходимо пояснить, что утончение пленок возможно не только в результате вытекания жидкости, но и при ее испарении. Большая площадь поверхности пены этому способствует, а замкнутость газовых пузырьков тормозит этот процесс. И все-таки испарение идет, пена высыхает и разрушается.

И еще одно отступление в область житейских историй, связанных с пеной.

«Убегающее» молоко, «быстроногий» кофе и сладкий белок. Можно с полной уверенностью сказать, что каждо-



Подлинная картина «взрыва».

му из нас не раз приходилось вздрагивать от внезапного возгласа: «Молоко убежало!». Если быть точным, то убежало не само молоко, а пена. Содержащиеся в молоке вещества, особенно белки,– хорошие пенообразователи. Они-то и создают шапку над кипящим молоком.

Бурное вскипание («убегание») молока, кофе, бульона и некоторых других привычных для нас жидкостей происходит одинаково. По мере нагревания над жидкостью растет шапка пены из мелких пузырьков. Она медленно увеличивается в объеме, и в момент закипания быстро поднимается вверх. Секунда промедления – и эта быстро надвигающаяся лавина перевалит через края кастрюли или кофеварки. После свершившейся «трагедии» пена появляется снова, но уже не столь обильная и «живучая». Новые порции пузырьков быстро увеличиваются в объеме и лопаются. Объясняется это тем, что первые порции пены образуются за счет воздуха, растворенного в жидкостях, а после того, как шапка «убежит», пузырьки наполняются только водяными парами. Едва поднявшись над поверхностью жидкости, они быстро охлаждаются и разрушаются. Кстати, убегающая шапка пены уносит ароматические вещества, поэтому долго кипевшее молоко или кофе много теряют не только во вкусовых качествах, а и в полезности. С первой порцией пены «убегают» многие ценные белки, соли и углеводы из молока, кофеин и тонкодисперсные частицы из кофе. Со сбежавшей пеной теряются активные пенообразователи и стабилизаторы, способность этих жидкостей образовывать пену угасает, а получаемая при повторном кипячении пена быстро разрушается.

Один из лучших пенообразователей среди белков – яичный, ему практически нет равных при изготовлении тортов, кремов, пирожных, пастилы, муссов и других вкусных «пен». Следовательно, в положении «с пеной у рта» может оказаться любой из нас не только в переносном смысле этого слова (например, при бурной дискуссии «яростно доказывать с пеной у рта»), но и буквально – с куском красивого торта. Попутно заметим, что бывают вспененные (пористые) сорта шоколада. Наконец, несколько раз в день мы измельчаем зубами достаточно мягкую пену – хлеб.

КАК ПРОДЛИТЬ ЖИЗНЬ ПЕНЫ?

Читатель прекрасно знает из собственного опыта, что пены не всегда бывают высокоустойчивыми, что они способны быстро самопроизвольно разрушаться. Но во многих случаях необходимы пены, способные в течение многих часов сохранять свой объем.

Ответ на вопрос о том, как сделать пену более прочной, логично искать в теории устойчивости пен. Однако,

как справедливо утверждает известный физикохимик А. Шелудко, до настоящего времени не разработано полной, экспериментально доказанной теории устойчивости пен. Так, Б. В. Дерягин считает, что «основная причина устойчивости пен не связана с замедлением утончения или растяжения их пленок». Он усматривает ее в электростатическом расклинивающем давлении, возникающем в пленках. По мнению других специалистов, устойчивость пен зависит главным образом от структурно-механических свойств жидкости, степени гидратации ПАВ и интенсивности испарения жидкости с поверхности пленок. Единого мнения, как видим, пока нет. К этому надо добавить, что выводы из результатов исследования единичных, изолированных пленок неприменимы к пенам, которые нельзя представить просто как сумму отдельных жидких перегородок. Однако изложение всех теорий устойчивости пен увело бы нас от популярной книги в сторону монографии.

В специальной литературе по теории устойчивости пен есть много примеров продления «жизни» пены. Приводятся данные о том, что сапонин и белок образуют жесткие и стойкие пены и что вообще пенообразователи растительного и животного происхождения, имеющие структуру коллоидов, дают долгоживущие пены.

Наиболее простой и действенный, а потому и самый распространенный способ повысить жизнеспособность пен – *стабилизация пен специальными добавками*. Этот метод предусматривает добавление в растворы ПАВ химических веществ – *стабилизаторов*. Их действие основано на увеличении вязкости растворов и замедлении за счет этого истечения жидкости из пен. Иногда происходит внедрение молекул стабилизатора в «частокол» молекул пенообразователя в пленках пены и связывание их в прочные и устойчивые объединения. Упрочнители пены могут быть растворимыми и нерастворимыми, органическими и минеральными (электролиты).

Все стабилизаторы по принципу упрочняющего действия на пены подразделяют на пять групп.

К первой группе относятся вещества, повышающие вязкость самого пенообразующего раствора, их называют загустителями; такие вещества следует добавлять к раствору пенообразователя в больших концентрациях. Это глицерин, этиленгликоль, метилцеллюлоза. Производные целлюлозы уже при одно-двухпроцентной дозировке увеличивают вязкость раствора и устойчивость пены в десятки раз, а вот глицерин эффективен только при концентрации 15-20%.

Вторую группу составляют вещества, вызывающие образование в пленках коллоидов; в результате обезвоживание пленок очень сильно замедляется. Коллоидные стабилизаторы являются более эффективными загустителями, чем вещества первой группы. Во вторую группу добавок входят желатин, клей, крахмал, агар-агар. Эти вещества в количестве 0,2-0,3% от массы ПАВ увеличивают вязкость жидкости в пленках более чем в 100 раз, а устойчивость пен возрастает при этом в 2–8 раз.

Вещества, полимеризующиеся в объеме пены, относят к третьей группе стабилизаторов. Полимеризация сильно увеличивает прочность пленок; возможен даже их переход в твердое состояние. Это наиболее эффективные стабилизаторы; в одних случаях это полимерные композиции – синтетические смолы, например карбамидные, в других – латексы и т.п.

Вещества четвертой группы образуют с пенообразователем нерастворимые в воде высокодисперсные осадки. Такие осадки бронируют пленки и препятствуют их разрушению. Это наиболее дешевые и широко распространенные стабилизаторы. К ним относятся соли тяжелых металлов: железа, меди, бария, реже алюминия. В пены вводятся очень небольшие добавки этих веществ.

Добавки, участвующие в построении адсорбционных слоев на границе раздела жидкость – газ, объединены

в пятую группу. Главные представители – высшие жирные спирты. При введении всего 0,05% спирта в растворы пенообразователей сильно снижается поверхностное натяжение смеси и за счет этого устойчивость пен повышается. Применяют в основном тетрадециловый спирт.

В зависимости от требований к стойкости пены и технологических условий производства на практике выбирают ту или иную группу стабилизаторов. Например, на кондитерских фабриках для изготовления пастилы, халвы, конфет нужны высокостойкие пены, а добавки в пены должны быть съедобными и не должны ухудшать вкус изделий. Этим требованиям удовлетворяют стабилизаторы второй группы. А вот при производстве теплоизоляционных и акустических материалов стремятся получить прочные (твердые) пены, в этом случае эффективны стабилизаторы третьей группы.

Есть еще один способ повышения стабильности пен, применяемый реже,– это *бронирование газовых пузырьков*. В пены вводят тонкоизмельченные твердые вещества (тальк, асбест, кварц, сажу), которые, при равномерном распределении на поверхности пузырьков, упрочняют пленки и продлевают жизнь пены. Такие пены называют *минерализованными.*

Образование устойчивой минерализованной пены происходит за счет прилипания твердых минеральных частиц к пузырькам пены (оно обусловлено пониженной смачиваемостью – гидрофобностью – твердых минеральных зерен). Не каждый элементарный акт встречи минеральной частицы с воздушным пузырьком в процессе перемешивания пены сопровождается прилипанием частицы. Специальная киносъемка показала, что прилипание твердой частицы имеет место лишь после нескольких соприкосновений с пузырьком. Минерализованные пузырьки постепенно сближаются и образуют сплошную ячеисто-минерализованную пену, в которой каждая воздушная ячейка бронирована большим числом твердых

частиц. Такие пены называют *агрегатными*. Они получаются, например, при флотации угля; содержание твердого вещества в них достигает 50% от массы пены. Интенсивность прилипания твердых частиц к пузырькам пены обусловлена силами взаимодействия между поверхностью твердой фазы и полярными группами ПАВ.

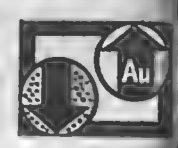
Большое влияние на бронирование оказывает размер твердых частиц, а также соотношение размеров зерна и газового пузырька. В публикациях последних лет, посвященных устойчивости пенных систем, категорически утверждается, что «тонкие порошки твердых веществ дают прочные пленки пены» и что «крупные и мелкие твердые частицы при совместном присутствии уменьшают прочность пен».

Степень минерализации пены зависит не только от размеров, но и от числа частиц, состояния их поверхности, от смачиваемости жидкой фазой, способа введения частиц в пену и многого другого. Таким образом, однозначно указать оптимальный размер частиц для различных практических случаев минерализации пены просто невозможно. В одних случаях порошки и мелкие волокна разрушают пены, в других – такие трехфазные пены образуют жесткий каркас (агрегатная пена), способный сохранять устойчивость длительное время. Одно можно сказать с уверенностью: предпочтительным для минерализации пены является большое различие в размерах воздушного пузырька и твердой частицы и неупругое их соударение при встрече, поскольку прилипание тем эффективнее, чем значительнее потеря кинетической энергии.

Механизм стабилизации трехфазных пен (газ – жидкость – твердые частицы) объясняют в первую очередь сужением каналов Плато. В результате уменьшения «свободного диаметра» канала скорость истечения раствора замедляется; пробки из зерен, не прилипших к пузырькам, дополнительно закупоривают эти каналы.

Теоретические основы стабилизации пен и практические пути ее достижения составляют сложный раздел современной физической химии. Поскольку при нынешнем уровне знаний еще нет достаточных данных для создания единой теории устойчивости пен, мы ограничились лишь изложением существующих взглядов и закончим раздел словами А. Шелудко: «...изучение устойчивости пленок пены... является важной проблемой физической химии дисперсных систем».

ПУЗЫРЬКИ-ТРУЖЕНИКИ



ПЕНА-ОБОГАТИТЕЛЬ

Одному из крупнейших советских специалистов в области обогащения полезных ископаемых принадлежит афоризм: «Хотите ли, не хотите ли – мы все обогатители». С именами В. И. Классена, И. Н. Плаксина, В. А. Глембоцкого связаны фундаментальные исследования в области флотации.

Приведенное шутливое двустишье имеет глубокий смысл.

Уголь и руду отделяют от пустой породы, нефть – от воды, природный газ из скважин – от пылинок, капелек воды и сернистых соединений, молочный жир – от сыворотки, волокно хлопка – от коробочки и семян... Даже снимая скорлупу с ореха, мы занимаемся обогащением.

Обогащению подвергают не только бедные руды цветных металлов – свинца, меди, молибдена, цинка, никеля и других, но и уголь, фосфорсодержащие минералы для производства удобрений, калийные соли, железные

руды и многие другие полезные ископаемые. Цель одна – отделить искомое от сопутствующего. В результате такого разделения ежегодно в мире создается более 35 млрд тонн различных отходов, и практически почти все они – продукты обогащения. Процесс обогащения основан на различии в каких-либо свойствах полезной части (например, руды, угля, неметаллических материалов) и сопутствующего материала (в нашем случае – пустой породы). Это может быть различие в размерах зерен, плотности, цвете и блеске, магнитных и электрических характеристиках, химических свойствах, смачиваемости. Вот это последнее свойство и лежит в основе обогащения подавляющего большинства полезных ископаемых. «Обогатителем» в этом случае «работает» воздушный пузырек. Пена на горнообогатительных комбинатах (ГОК) играет роль разведчика, транспортника и складского рабочего. Разделение, основанное на различной смачиваемости водным раствором ПАВ отдельных минералов руды и пустой породы, способности некоторых минералов прилипать к воздушным пузырькам и прочно на них удерживаться, называется *флотацией*.

Руду, подлежащую флотационному обогащению, подвергают тонкому измельчению. Из раствора, содержащего ряд химических водорастворимых компонентов (вспениватели, собиратели, или коллекторы, подавители, регуляторы состава среды и др.) и измельченной руды, энергичным перемешиванием готовят взвесь (суспензию). Через эту взвесь продувают воздух, раздробленный на мелкие пузырьки (от 0,5 до 2 мм). К таким пузырькам прилипают только частицы, плохо смачиваемые водой (гидрофобные). Пузырьки всплывают вверх, увлекая за собой прилипшую частицу. На поверхности образуется пена, содержащая желаемый минерал или группу таковых. Происходит концентрирование полезных руд, а «хвосты», т.е. пустая порода, которая в пену не попадает, оседают на дно флотационной машины.



Так устроена флотационная машина.

Но минералов, обладающих «природной флотируемостью», т.е. несмачиваемых водой, немного: графит, самородная сера, горный воск. Большинство же минералов, и в том числе содержащих медь, никель, свинец, цинк и другие металлы, хорошо смачиваются водой. Для уменьшения смачиваемости приходится вводить специальные *вещества-собиратели*, или *коллекторы*. Это может быть олеиновая кислота, нафтеновые кислоты или специально синтезируемые соединения (ксантогенаты, дитиофосфаты). Они способны избирательно адсорбироваться на поверхности минерала. При адсорбции молекулы собирателя ориентируются так, что гидрофобная часть их обращена в сторону жидкой фазы. Такая ориентация превращают гидрофильную частицу в гидрофобную, и она легко и надежно приклеивается к пузырьку. Главное, или одно из главных свойств флотационной пены, по мнению В. И. Классена, состоит в способности удерживать частички минералов. Количественно этот показатель оценивается значением «прилипаемости», для определения которого существует ряд методик и приборов. Вещества-коллекторы нередко обладают и свойствами пенообразователя, но обычно вспениватели вводят специально. Чаще всего это эфирные масла, например сосновое (состоит из терпеновых спиртов и терпеновых углеводородов), которому еще нет хорошего заменителя.

Эффективность флотации и производительность флотационных машин во многом зависят от стойкости пены. Высокостойкие пены плохо перекачиваются насосами и медленно фильтруются; извлечение концентрата из них затруднено. Малоустойчивые пены разрушаются (деминерализуются) еще в камере флотационной машины, и степень извлечения полезных минералов мала. Для флотации нужны пены, которые не разрушались бы в камере, но быстро деминерализовались в желобах флотационных машин при отделении концентрата.

Флотация в промышленных масштабах используется уже многие десятилетия, но флотационные реагенты пока подбирают в основном опытным путем. Заметим, что эффективность разделения минералов не зависит от их плотности. Тяжелые могут всплывать, а более легкие, но хорошо смачиваемые, оседать на дно. На полноту и скорость флотации влияют многие факторы: температура, наличие так называемых флотационных ядов (веществ, ухудшающих пенообразование), концентрация примесных растворимых соединений и многое другое, включая конструкцию флотационных машин и качество воды в зоне работы предприятия. На выход флотационного концентрата влияет даже погода. В дождливые дни вода содержит больше взвешенных и растворенных веществ, поэтому флотация менее действенна, чем в сухую погоду. Современная флотационная технология использует и до-

полнительные воздействия на воду, как на среду, в которой идут физико-химические процессы образования пены и ее минерализации. Например, предварительно воду подвергают магнитной обработке. В такой омагниченной воде разделение будет более полным.

Первые флотационные машины были запатентованы в самом начале нашего века. Уже в 1904 году в г. Мариуполе (ныне г. Жданов) была пущена первая флотационная машина для обогащения графита.

Слово *«флотация»* происходит от латинского *fluctuo*, что буквально означает «ношусь по волнам». Флотационная машина и предназначена для создания «волны», которая выносит полезную часть руды «на берег».

Весьма образно технология пенной флотации описана в солидном учебнике по химической технологии (под редакцией академика С. И. Вольфковича): представим себе толпу людей, в которой есть несколько человек в очень яркой и красивой одежде. Как этих людей выделить, изъять из толпы? Можно выпускать всех через узкие ворота. Но можно с воздушного шара опустить прочный канат, к которому желаемое лицо будет «притянуто» особым способом.

Конечно, можно воспользоваться и другим примером: вспомним, как «обогащала» (разделяла) крупу Золушка или как вылавливают наполненные водородом разноцветные шарики под высокими сводами зданий, откуда их достать обычными способами весьма трудно. Зато очень эффективен довольно простой прием: большой наполненный водородом шар, смазанный тонким слоем машинного масла, с помощью тонкой нитки подводят к «беглецам» под крышей. Шарики прочно прилипают и... опускаются вниз. Что-то вроде «флотации наоборот».

Роль «каната» или «нитки» при флотации выполняет флотационный реагент. Адсорбируясь на поверхности минералов, он прочно связывает частички минерала с воздушным пузырьком.

Старая народная мудрость гласит: «сложно отыскать иголку в стоге сена». По современным представлениям, эта задача не из самых сложных. Иголку из сена можно, например, извлечь с помощью магнита. Технология этого приема проста: на ленту конвейера, снабженного сильным электромагнитом, подают непрерывно сено. Иголка (2 грамма) составляет от стога сена (2 тонны) не так уж мало – больше одной десятитысячной (10^{-4}) доли процента. Заметим, что в богатых алмазных рудах содержание алмазов составляет не более 0,4 карата в тонне. Если подсчитать (принимая во внимание, что 1 карат равен 0,2 г), то оказывается, что алмазов в руде меньше, чем железа (иголка) в стоге сена. Следовательно, извлечь алмаз из руды почти во сто крат сложнее, чем иголку из стога сена. Некоторых металлов в исходных рудах иногда еще меньше, чем алмазов в кимберлите – алмазоносной руде. К тому же извлечение алмазов облегчается вследствие особых свойств самих алмазов: они не смачиваются водой, но смачиваются нефтяными маслами (например, вазелиновым), блестят при облучении рентгеновскими лучами, их объемная масса больше, чем у других составляющих руды, поэтому можно отделить их от породы не только флотацией.

Нередко руды полиметалличны, т.е. представляют собой смесь оксидов, сульфидов, силикатов сразу нескольких металлов (железа, меди, олова, цинка и др.). Обогащение таких руд осуществляется многократной флотацией или сочетанием нескольких методов.

Используемые во флотации синтетические поверхностно-активные вещества и некоторые природные жирные кислоты часто вызывают избыточное пенообразование, что затрудняет обогащение. Чтобы избежать этого, вводят антивспениватели (пенорегуляторы), например сложные эфиры и углеводороды. Физико-химические основы «работы» антивспенивателей достаточно полно расшифрованы. Антивспениватели или предотвращают ад-

сорбцию молекул пенообразователя на границе раздела жидкость – газ, или вытесняют (замещают) эти молекулы на этой границе. Вытеснение может быть полным или частичным. Образующийся новый адсорбционный слой слабо гидратирован, так как молекулы антивспенивателя малополярны. В результате трехслойные пленки («сэндвичи») в пене, разделяющие воздушные пузырьки, оказываются слабоструктурированными, и из пленок вытекает вода. Пленки утончаются, пузырьки коалесцируют и пена разрушается.

Богатых руд на земле становится все меньше. Сейчас начинают использовать руды, которые ранее при разработке больших месторождений считались столь бедными, что шли в отвал. Поэтому роль маленького пенного пузырька в обеспечении промышленности полноценным сырьем становится все весомее.

ШВЕЙК И ЕГО ЦЕЛЕБНАЯ ВОДА

Герой Гашека Швейк рассказывал о таком способе изготовления железистой воды: в колодец бросаются старые подковы. Он утверждал, что так можно получить целебную воду. В солидной монографии (Г. И. Николадзе) по вопросам технологии воды сказано очень четко: «Для большинства потребителей вода, содержащая железо в значительных количествах, непригодна для использования без специальной обработки». К числу таких потребителей относятся почти все отрасли промышленности. Непригодна такая вода и в быту. Вода, содержащая железо, имеет неприятный вкус, в ней образуется осадок, использование такой воды опасно для охладительных систем и паровых котлов.

Потребность в пресной воде в развитых странах непрерывно возрастает, поэтому в качестве источников водоснабжения все чаще используют подземные воды, которые очень часто содержат соединения железа. В первую очередь это относится к районам залегания бурых углей, выброса шахтных вод, а также к болотистым местностям. В воде подземных источников железо содержится в виде двухвалентных ионов. Удаление соединений железа из воды основано на том, что под действием кислорода воздуха Fe^{II} окисляется до Fe^{III}; в осадок выпадают хлопья гидроксида железа (III). К сожалению, эти хлопья очень мелкие, плохо слипаются друг с другом и поэтому способны долго плавать в воде, так что формирование осадка происходит очень медленно. Процесс осветления воды оказывается очень длительным, такая очистка воды в промышленных масштабах не рациональна. Флотация позволяет быстро очистить воду от нерастворимых соединений железа. Обезжелезивание вод осуществляют реагентными и безреагентными способами. В первом случае в воду добавляют водорастворимые препараты, во-втором – ее насыщают кислородом или воздухом.

Сейчас в Советском Союзе успешно завершено испытание комбинированного метода, так называемого напорно-флотационного способа. Суть его в том, что воду подземных источников с высоким содержанием растворенных соединений железа (II) подвергают действию известкового раствора и воздуха. В результате взаимодействия с известью соли железа (II) переходят в $Fe(OH)_2$, который затем окисляется воздухом до $Fe(OH)_3$. Воздух, растворенный в воде под давлением, при уменьшении давления выделяется в виде мельчайших (от 0,01 до 0,2 см) пузырьков. Они всплывают и выносят на поверхность воды грязно-коричневые хлопья гидроксида железа. Эту пену механическим путем собирают, а обезжелезенную воду используют для технических целей. Таким образом, барботирование воздуха (вдувание в воду под давлением) при данном способе очистки воды – это флотация, но без флотареагентов.

БУМАГУ ДЕЛАЮТ ИЗ БУМАГИ

Обсуждение вопроса о сборе и утилизации макулатуры на страницах газет и журналов потребовало такого количества бумаги, что, вероятно, пришлось срубить не одну рощу, привезти на целлюлозно-бумажные комбинаты не один состав бревен. Сейчас сбор макулатуры организован повсеместно. Найдены «рычаги», и теперь у пунктов приема макулатуры можно увидеть школьников и пенсионеров, студентов и инженеров, лесорубов и металлургов.

Но макулатура еще не бумага. Макулатура, прежде чем она превратится в картон или бумагу, подвергается множеству операций. Одна из главных – отделение краски от бумаги. И тут тоже используют флотацию. Краска смачивается некоторыми веществами лучше, чем волокна бумаги – целлюлоза. С глянцевой бумаги краска удаляется сравнительно легко, из пористой газетной бумаги – сложнее, однако и эту бумагу пена делает чистой.

Таким образом, защита лесов от чрезмерной рубки косвенно связана с использованием пены для обработки макулатуры.

ЛОВУШКИ ПЛЮС ФЛОТАЦИЯ

Сейчас повсеместно в портах балластные воды из танкеров сливаются на специальных станциях промывки. До недавнего времени очистка сточных вод от нефтепродуктов осуществлялась с помощью нефтеловушек, которые позволяют задерживать только плавающие на поверхности нефть и нефтепродукты. Но есть нефть, способная тонуть в воде. Есть и мазуты, у которых плотность больше, чем у воды. Кроме того, некоторое количество нефтепродуктов находится в воде во взвешенном состоянии, практически в виде эмульсии. В таком состоянии они не всплывают, но и не тонут. Эмульгированная нефть, находящаяся в морской воде в виде мелких и мельчайших капелек, особенно опасна.

Возникновение эмульсий нефти в морской воде обусловлено тем, что в воде постоянно присутствуют эмульгаторы биологического происхождения, образующиеся в результате жизнедеятельности растений, животных и мельчайших водорослей. Этому образованию способствует также щелочной характер морской воды. Известно, что даже слабые щелочи при контакте с нефтью способны создавать вещества, аналогичные синтетическим мылам.

Эмульгированная и вспененная нефть в воде (ее особенно много в сточных водах нефтеперерабатывающих предприятий, авторемонтных заводов, нефтебаз и промывных пунктов на железной дороге) создает наибольшие трудности при очистке воды.

Конечно, самый простой путь – полностью исключить сброс подобных эмульсий в водоемы, создав замкнутый цикл водоснабжения. Более двадцати лет назад был разработан и внедрен в практику на нефтеналивных кораблях Волги и Каспия эмульсионный метод очистки. Он основан на применении эмульгирующих растворов, которые образуют с отмываемым нефтепродуктом нестойкую эмульсию. Эту эмульсию откачивают из очищаемого танкера или нефтеналивной баржи в каскадный отстойник, в первых ступенях которого отделяется нефтепродукт, а в последних – раствор. Вода (раствор), очищенная от остатков нефтепродукта, пригодна для повторного использования по замкнутому циклу.

В годы Великой Отечественной войны в районе Астрахани через Волгу был протянут под водой нефтепровод диаметром 300 мм и длиной в несколько километров. Он соединял нефтебазы, расположенные на берегах Волги. Когда он сослужил свою службу, стали думать,

как использовать его дальше. Бросить трубы жалко и не по-хозяйски, извлекать их со дна реки и сложно, и дорого. Тогда и возникла идея превратить нефтепровод в водопровод. Но предварительно надо было очистить трубы от остатков нефти. Было решено использовать пенно-эмульсионный способ очистки трубопровода. В большом резервуаре приготовили раствор, содержащий эмульгатор и пенообразователь. Этот раствор с помощью мощных насосов перекачивали по нефтепроводу на другой берег в специальную емкость. В ней эмульсия разрушалась, и нефть всплывала. Раствор без нефти перекачивался в обратном направлении. И так до тех пор пока трубопровод не стал чистым.

В ряде случаев большие объемы сточных вод с эмульгированной нефтью (до нескольких сот граммов на тонну воды) неизбежны. Различные устройства (ловушки, отстойные пруды) не способны выделить полностью эту нефть из воды.

В распоряжении технологов в цехах и на станциях очистки сточных вод остаются такие методы, как фильтрование через пористые материалы, вымораживание. Однако это дорого, громоздко, длительно. Поэтому за последние годы сложилось почти единое мнение: самый простой путь – очистка флотацией.

Принципиально флотационная очистка воды от нефтепродуктов ничем не отличается от обогащения измельченных руд цветных металлов флотационным методом. Разве только тем, что не вводят флотареагенты, которые изменяют смачиваемость поверхности полезных компонентов измельченной руды. При продувании воздуха через очищаемую воду капли нефти прилипают к пузырькам и выносятся с ними на поверхность. Механическими способами продукт такой флотации удаляют и сжигают.

В настоящее время разработаны методы пенной флотации, позволяющие очищать воду без ловушек. Содержание нефтепродуктов после флотации резко снижается,

и получаемая вода может быть использована для технических целей.

К сожалению, у флотационного метода есть один серьезный недостаток: та часть нефти, которая растворена в воде, флотацией не удаляется. Добавим, что растворимость бензина в воде составляет 50 г на тонну, а для некоторых сернистых нефтей она превышает 100 г. Поэтому ученым и специалистам предстоит создать эффективные методы полной очистки сточных вод от нефтепродуктов.

Не только нефтепродукты выделяют из сточных вод с помощью флотационной очистки. Все шире она применяется на очистных станциях больших городов и заводских объектов для обезвреживания бытовых и промышленных стоков. В пенной подушке на поверхности очищаемой воды собираются твердые частицы грязи, жидкие водонерастворимые примеси, дурно пахнущие вещества и даже вредные микроорганизмы. Эта грязная пена, набитая разными, в том числе токсичными и зловонными веществами, подлежит уничтожению. Для этого пену разрушают, а выделившуюся грязь обезвреживают. Затем надо устранить плохой запах и лишь после этого твердую массу можно вывозить на свалку. Сложно и трудоемко. Давно высказывалось мнение, что проще и эффективнее всего эту грязную пену сжечь. Тем более, что в такой пене много органических веществ. Проще,... но пена, сколько ее ни поджигали, не горела. Тогда за проблему сжигания грязной пены взялись специалисты Московского энергетического института. И вот в лаборатории получена, а затем испытана на очистной станции горючая пена. В ней газовая фаза создается не воздухом, а природным газом. Для этого через сточную воду с ПАВ продувается газ. Такая пена горит, как факел, а с нею сгорает грязь. Этот метод обезвреживания сточных вод назван термическим. «Работает» флотация и при очистке сточных вод в аграрно-промышленных комплексах.

Индустриализация сельскохозяйственного производства, особенно животноводства, предполагает создание крупных комплексов, в которых одновременно будут содержаться десятки тысяч голов скота. Животноводческий комплекс на 10 тысяч коров дает в год столько же отходов, сколько и город с населением в 100 тысяч человек. Эти отходы удаляются из помещений с помощью воды и транспортируются по трубам за пределы коровников и свинарников в виде пульпы.

Огромные массы отходов, разбавленные водой, нельзя использовать непосредственно для удобрения полей без предварительного обезвреживания. Кроме того, пульпу достаточно сложно транспортировать на дальние расстояния. Разделение массы отходов на твердую и жидкую фазы путем отстаивания или центрифугирования не решает проблемы в целом. В жидкости остается трудноотделимая взвесь из твердых мелких частиц; без полного отделения взвеси нельзя использовать повторно воду даже для полива сельскохозяйственных полей или для удаления отходов из животноводческих помещений.

Предлагались различные способы очистки воды в этих отходах: пруды-отстойники, поля орошения с культивированием камыша, электрокоагуляция. И даже переработка твердой фазы путем разведения мух на отделенной твердой фазе. Выводимые мухами личинки могут служить хорошим кормом для свиней, птицы... Но это проекты. А пока жидкими отходами заполняют хранилища-накопители. Затем после отстаивания жидкость очищают пенной флотацией. Очевидно, старый способ – флотация останется вне конкуренции еще много лет.

В последнее десятилетие флотационная очистка стала применяться для экономии воды при добыче нефти. При бурении в скважины закачиваются под давлением промывочные жидкости. Они называются промывочными, потому что их главное назначение – вынос из скважин частиц разрушенных горных пород. Для бурения даже одной

скважины требуется очень большой объем промывочных жидкостей, а во многих районах добычи нефти воды не хватает. Поэтому была разработана пенная промывка скважин. Пена транспортирует твердые частицы породы из скважин значительно лучше, чем вода (эффект флотации). А расход воды при этом сокращается в десятки раз. Впервые на промышленной скважине метод пенной промывки был опробован в Канаде десять лет назад. Опыт оказался успешным, сейчас пенная промывка внедряется в буровые работы во многих странах.

КАК «ПОЙМАТЬ» ПАРЫ БЕНЗИНА?

Танкер с грузом бензина пришел в южную страну. С помощью мощных насосов бензин перекачали в береговые емкости. Правда, делали это ночью, обильно поливая палубу забортной водой, ибо днем, в жару, насосы работают с очень малой производительностью из-за большого давления паров бензина. После откачки бензина на днище остаются небольшие лужицы, а воздух внутри отсеков танкера до предела насыщен парами бензина. Готовая взрывчатая смесь. С таким «грузом» уходить в обратный рейс опасно, а о ремонте, даже самом мелком, корпуса или машины нельзя и думать: рядом – взрывчатка. До конца 50-х годов этого столетия во всем мире поступали в подобных случаях одинаково: порожний танкер заполняли... керосином. Керосин растворял бензин. Для того чтобы полностью удалить бензин, нужно весь танкер заполнить керосином. Так поступали и при перевозках бензина на баржах по Волге, Днепру, Енисею. Удалить остатки керосина после такой промыки было проще, хотя не так дешево обходилась эта косметическая операция: в керосин попадал бензин, а такой керосин – уже не керосин, его нужно перерабатывать как сы-

рую нефть. Так и поступали! Накачать в баржу керосин, откачать его. Переработать. Стоимость такой операции выражалась уже десятками тысяч рублей.

Известен пенный способ дегазации бензиновых барж, резервуаров, цистерн. Сущность способа весьма проста: раствор, содержащий поверхностно-активные вещества, электролиты и регуляторы вязкости, распыляли гидромониторами внутри емкости с остатками бензина. Обильная пена быстро заполняла весь объем или часть танкера; один отсек (танк). Пары бензина попадали в пузырьки пены, которая при разрушении давала достаточно стойкую эмульсию бензин – раствор. Жидкий бензин на дне резервуаров также превращался в эмульсию. Эту эмульсию с заданным периодом «жизни» откачивают в систему каскадного отстойника. Эмульсия разрушается, бензин всплывает. Пенообразующий раствор пригоден для повторного многократного использования. Процесс без отходов, без сброса загрязненных вод. Замкнутый технологический цикл, к тому же очень дешевый. Подобным же методом «пенной дегазации» обрабатывались огромные резервуары (5000 тонн) на нефтебазах и в хранилищах. А вспениваемого раствора было всего несколько кубометров.

ПЕНА ЗАЩИЩАЕТ ОКЕАН

Нефтяное загрязнение – грозный фактор, влияющий на жизнь Мирового океана, а следовательно, и на жизнь человечества. Даже сравнительно небольшие количества нефти в воде нарушают обмен у рыб, мидий, креветок. Особенно пагубно действует нефтяное загрязнение на икринки рыб: из них вырастают мальки-уроды, жизнеспособность которых очень мала.

Появление нефти или мазута вблизи коралловых отмелей приводит к гибели коралловых полипов. Они могут жить только в чистой и прозрачной воде. С колониями кораллов связана жизнь многих видов рыб, и гибель кораллов вызывает исчезновение некоторых форм морской фауны.

Страдают от загрязнения нефтью и крупные морские животные – киты, дельфины, тюлени, гибнут птицы – более 250 тысяч ежегодно.

Появление нефти в море приводит к образованию на его поверхности тонкой нефтяной пленки. От этого нарушается тепло-, влаго- и газообмен между океаном и атмосферой. Например, испарение воды с такой поверхности уменьшается на 60%. В результате поверхностные слои воды под нефтяной пленкой сильнее нагреваются и массы воздуха, находящиеся над загрязненными участками, имеют повышенную температуру и меньшую влажность. Перепад температур воздуха в отдельных областях океана способствует зарождению грозовых облаков и мощных разрушительных циклонов. Таким образом, загрязнение океана играет большую роль в формировании климата и погоды на земле.

Главными причинами загрязнения мирового океана нефтью считают транспортировку нефти водным путем, добычу нефти из моря и промышленные сточные воды, попадающие через речки и реки в моря.

Крупные современные танкеры перевозят ежегодно более 1,5 млрд тонн нефти. Только из бассейна Персидского залива транспортируют танкерами в Европу, Америку и Японию до миллиарда тонн нефти в год. При таких перевозках нефть может попадать в воду. Происходит это и при авариях танкеров.

В море выливаются сотни тысяч тонн нефти. Так, из-за столкновения судов между собой и с различными неподвижными предметами, а также из-за неудовлетворительного технического состояния танкеров только за 15 дней декабря 1976 года в американских водах потерпели катастрофу пять танкеров. А ведь современные гигант-

ские супертанкеры имеют водоизмещение 400-500 и более тысяч тонн. Когда у берегов Франции погиб супертанкер «Амоко Кадис», в море вылилось 230 тысяч тонн нефти. Вдоль побережья живописнейшего уголка Франции – Бретани на 200 километров растянулось нефтяное пятно. Десятки тысяч французов защищали свое побережье от загрязнения нефтью, убытки составили сотни миллионов франков.

Специалисты считают, что одновременная авария десяти современных супертанкеров может привести к гибели всего живого в Мировом океане.

Миллионы тонн нефти попадают в море с балластной водой и водой от промывки танкеров в океане после разгрузки. Обычно танкеры в одну сторону везут нефть, а в обратном рейсе танки заполняются водой для придания судам необходимой устойчивости. Эту воду и называют балластной. При откачке нефти некоторое ее количество всегда остается на дне и стенках танков. Балластная вода смывает и растворяет эти остатки и поэтому всегда содержит нефть. Перед новой загрузкой нефтью балластную воду из танкера сливают, и хотя сброс неочищенной балластной воды в море запрещен, все же нередко этот запрет нарушается. Некоторые судовладельческие компании считают более выгодным платить штрафы и получать экономию от сокращения времени простоя танкеров на станциях промывки.

Загрязняется море и при добыче нефти в прибрежной (шельфовой) зоне. Случаются выбросы нефти в море при испытании скважин, утечки при повреждении оборудования во время штормов и т. д. Мировую известность получила катастрофа на морском месторождении в Северном море вблизи Норвегии. При ремонтных работах на буровой платформе произошел выброс нефти: нефтяной фонтан высотой 60 метров выливал в море каждые сутки 5-6 тысяч тонн нефти. У берегов Скандинавии образовалось нефтяное пятно площадью в 300 квадратных километров. Специалисты многих стран участвовали в ликвидации этой аварии. Много нефти и нефтепродуктов попадает в море с промышленными сточными водами и в результате загрязнения акватории портов судами.

Самым простым и наиболее распространенным способом защиты Мирового океана от загрязнения нефтью являются пены. Пена – главный «работник» по очистке воды от нефтяных включений. Вот один из примеров использования пены в борьбе с загрязнением воды нефтью.

Ученые установили, что барьером для разливающейся нефти может служить непрерывный поток воздушных пузырьков, поднимающихся со дна. Для этого вдоль охраняемого района, например акватории морского порта, по дну прокладывают перфорированные трубы, через которые поступает воздух от компрессоров, включаемых в случае необходимости. В результате нефть растекается лишь на ограниченном морском пространстве и может быть убрана специальными катерами-сборщиками. Так воздушный пузырек служит защите океана, берегов и портовых сооружений от нефтяного загрязнения.

ОРУЖИЕ ПОЖАРНЫХ



МОЖНО ПОГАСИТЬ ОГОНЬ ПЕНОЙ...

Борьба с огнем, когда он выступает как враг человека, уже давно осуществляется при помощи пены. Огнетушители, бросающиеся в глаза своей яркой окраской, висят на стенах лабораторий и складов, заводских цехов и учреждений. И правила пользования ими весьма простые: «Возьми в руки. Переверни. Ударь стержнем об пол. Струю пены направь на огонь». От удара разбивается со-



суд с раствором кислоты, которая заливает смесь, состоящую из соды, наполнителей и поверхностно-активных веществ. Пена должна ударить струей сразу же. Возможно, читатели помнят неудачу Остапа Бендера, посетившего дом для престарелых в поисках одного из 12 стульев. После удара послышалось лишь слабое шипение. Пена появилась значительно позднее...

Сразу же оговоримся, что такие «ударные» огнетушители, выбрасывающие струю пены, не единственные в нынешней практике. Все чаще используют так называемые углекислотные огнетушители, которые работают по иному принципу. Внутри баллона с подвижным раструбом находится углекислота под давлением. Когда открывают вентиль, запирающий баллон, снижается давление; следствие этого – эффект дросселирования: струя газообразного диоксида углерода настолько охлаждается, что часть ее превращается в белые, подобные снегу, хлопья – это твердая углекислота.

Роль огнетушащего одеяла выполняет уже не мокрая пена, наполненная CO_2, а сама углекислота в газообразном состоянии. Испокон веков огонь гасили водой, засыпали землей, накрывали полотном из негорючего материала. А если огонь небольшой, то и обычным одеялом.

Человек давно заметил, что верный способ погасить огонь – прекратить доступ воздуха к месту горения. Достаточно накрыть горящую свечу стаканом, и пламя исчезнет. Диоксид углерода заполнит объем стакана, горение прекратится. В некоторых случаях поступают именно так, распыляя твердую углекислоту из огнетушителей над горящим предметом. Более мощным источником CO_2 являются пены, наполненные этим газом. Такие пены используются для тушения пожаров на морских и речных кораблях, в складах с материалами и веществами, подверженными разрушению или порче при контакте с большими количествами воды.

В тех случаях, когда применение воды вообще недопустимо, например при тушении пожаров в архивах, картинных галереях, на некоторых предприятиях, гашение осуществляют только твердой углекислотой. Однако и здесь есть исключения. Магний и его сплавы легко горят в атмосфере CO_2. Там, где работают с магнием, это правило обязан знать каждый!

Заливка пеной – основной способ тушения горящих нефтепродуктов. Попадание воды в горящие бензин или нефть расширяет площадь пожара, так как, всплывая, они растекаются по поверхности воды. Пена легче нефти и плавает на ней. Высокая текучесть пены и низкое поверхностное натяжение обеспечивают самопроизвольное ее распределение тонким слоем на поверхности горящих нефтепродуктов.

О пригодности пены для тушения огня судят по ее *изолирующей способности*. Она показывает способность пены резко снижать скорость испарения горящей жидкости вследствие образования на поверхности жидкости сплошного паронепроницаемого слоя. В результате в зону горения прекращается поступление горючих паров, и пожар затухает. Этот процесс включает две фазы: вначале выделяющаяся из пены жидкая фаза охлаждает поверхностный слой горящей жидкости, снижая давление ее паров. Затем, уменьшая скорость испарения нефтепродук-



та и препятствуя поступлению воздуха, пена прекращает горение.

При горении твердых предметов вследствие плохой проницаемости (диффузии) воздуха через пену прекращается доступ к месту горения кислорода и пожар затухает. Малая передача тепла через пену замедляет ее разрушение от действия тепла и обеспечивает ее длительную устойчивость в зоне пожара.

С помощью пены тушат пожары на морских и речных судах. Для этого используются специальные катера, оборудованные высокопроизводительными пеногенераторными установками.

Загоревшийся самолет гасят только пеной. Пена эффективно и быстро ликвидирует горение в подвалах, кабельных туннелях, на компрессорных и насосных станциях и т. д.



Использование водопенных средств для тушения пожаров сокращает расходы воды в 2–4 раза, уменьшает время тушения и, что особенно важно, убытки от пожара при этом в среднем втрое меньше.

А убытки от пожаров очень велики. Только в США они составляют около семи миллиардов долларов, или 30 долларов на душу населения, ежегодно. От пожаров в 1978 году в США погибло более 14 тыс. человек. Поэтому своевременное пресечение пожара, ограничение площади его распространения, сведение к минимуму потерь при пожаре является очень важной задачей.

Специальные обследования показали, что тушение пожаров водой не только малоэффективно, но и приводит к большим дополнительным разрушениям и потерям. Струя воды, подаваемая из шлангов под большим давлением, сбивает пламя, однако безвозвратно губит мебель в жилых и общественно-культурных зданиях, разрушает отделку интерьеров, крушит точное оборудование и при-

боры, заливает нижние этажи даже при мелкоочаговом пожаре на верхних этажах зданий. Вода с трудом прекращает горение полимерных теплоизоляционных и отделочных материалов. Тушение пенными составами лишено этих недостатков. Большие работы по созданию новых пенных составов и их внедрению при тушении пожаров выполнены ВНИИПО (ВНИИ – это понятно, ПО – пожарной охраны).

НЕ ВСЯКАЯ ПЕНА ОГОНЬ ГАСИТ

Пена, предназначенная для борьбы с огнем, должна обладать рядом свойств, обеспечивающих ее эффективное действие. К таким специфическим свойствам пен относятся их структурно-механические характеристики, изолирующая способность, стойкость при контакте с изолируемой средой, кроющая способность, или текучесть, пены и, конечно, кратность – один из главных показателей качества.

Важным показателем пены, предназначенной для изоляции горящего объекта, служит теплопроводность. С повышением кратности пены ее теплопроводность снижается. Это весьма важно при тушении пожаров. Поэтому пожарники стремятся получать пены с высокой кратностью. Поскольку для пожаротушения используют пену, наполненную не только воздухом, но и CO_2, а в некоторых случаях и другими газами, заметим, что теплопроводность пены зависит от вида газа.

Любопытно, что пена обычно несколько холоднее, чем жидкость, на поверхности которой эта пена собирается. Причина – интенсивное испарение жидкости с огромной поверхности пены.

Пена проводит электричество, но различно в зависимости от состава и особенно от содержания электролитов. Этого нельзя забывать при тушении пожара. В помещении, обрабатываемом пеной, может быть электропроводка. Тогда струя пены – проводник тока.

Если горящий объект – органическая жидкость, то используемая пена должна быть достаточно стойкой к этому веществу. Ведь известно, что многие органические вещества – хорошие пеногасители даже в виде капель и пара. Мы пытаемся набросить на горящую жидкость «одеяло» из пены, а это одеяло мгновенно расползается. Тонкие исследования устойчивости пен при контакте с органическими жидкостями показали, что устойчивая огнегасящая пена может быть получена при одновременном присутствии в пенообразующем растворе сразу трех компонентов: пенообразователя, промотора и защитного коллоида (*промоторы* от латинского *promoteo* – продвигаю; вещества, усиливающие каталитическое действие тех или иных соединений). Поэтому порошки для пенного огнетушения включают ПАВ, наполнитель-промотор (аэросил – тончайший порошок диоксида кремния) и определенный защитный коллоид.

Итак, выбор пены для противопожарных целей – достаточно сложная и ответственная задача.

Применять пену для тушения пожаров впервые предложил в 1904 году русский инженер А. Г. Лоран. Пену получали из водного раствора мыльного корня за счет диоксида углерода, образующегося в результате взаимодействия растворов кислоты и соды. Такая пена названа *химической*. В дальнейшем метод получения химической пены был серьезно усовершенствован и жидкие кислотный и щелочной растворы заменены сухим пеногенераторным порошком.

Химическая пена имеет кратность около 5 (80% воздуха и 20% водного раствора ПАВ), обладает высокой стойкостью на поверхности нагретых нефтепродуктов, образует плотный пенный покров. Но установки для тушения химической пеной громоздки, а расход пеногене-

раторного порошка при тушении пожара на нефтехранилище средней емкости достигает 100–150 тонн. Поэтому такое пенотушение применяется в настоящее время только при пожарах в небольших нефтяных хранилищах.

Сейчас в мировой практике для тушения горящих нефтепродуктов, химических материалов, хлопка и тканей, а также пожаров на заводах, в библиотеках, на судах, танкерах, самолетах и на других объектах используется воздушно-механическая пена. Такие пены получают введением воздуха или диоксида углерода в водные растворы ПАВ со стабилизатором. Кратность пены при эжекции воздуха в пеногенераторном стволе достигает 10–100 (содержание воздуха в пене 90–99%), при принудительной подаче газа кратность пены доходит до 1000, а содержание газа в ней – до 99,9%.

Для тушения больших пожаров используются пены средней кратности из растворов синтетических ПАВ, ибо наибольшей стойкостью характеризуются пены с кратностью 100–150. В противопожарной технике природные пенообразователи почти полностью заменены на синтетические. Применяются в основном анионоактивные ПАВ и среди них вторичные алкилсульфаты, сульфанолы, алкиларилсульфонаты и др.

При приготовлении водных пеносоставов для тушения пожаров большое внимание уделяется увеличению устойчивости пен. В растворы добавляют небольшие количества веществ-стабилизаторов, которые сами, как правило, пены не образуют. В пожарной технике применяют высшие жирные спирты (ВЖС). Так, например, тетрадециловый спирт повышает устойчивость пены в 5 раз.

Разработаны составы водно-пенных средств для тушения различных горючих материалов: спирта и нефти, тканей и полимерных материалов, алюминия и древесины. При тушении пожаров на заводах, оснащенных дорогостоящим оборудованием, в пеносоставы добавляют ингибирующие присадки. Последние не только защищают от разрушения пенообразующую аппаратуру и емкости для хранения пенообразователей, но и предохраняют от коррозии оборудование.

Для тушения пожаров в зимних условиях разработаны рецептуры пенообразователей с температурой замерзания до минус 30°C.

Обычно тушение горючих жидкостей происходит следующим образом. Пену в виде компактной струи подают в нескольких точках на поверхность горящей жидкости, по которой она растекается. Скорость движения пены по жидкости примерно постоянна и составляет около 0,3 м/с. Под воздействием пламени и нагретого нефтепродукта пена постепенно разрушается, и в определенный момент количество разрушающейся пены становится равным количеству пены, поступающей в резервуар. Наступает состояние подвижного равновесия. Для того чтобы пена покрыла всю поверхность горящей жидкости, ее расход должен превышать объем разрушающейся пены. Увеличение расхода пенообразователя сокращает длительность тушения пожара, а повышение дисперсности пены (уменьшение диаметра пенных пузырьков) придает ей большую стойкость.

Тушение горящих нефтепродуктов связано с большими затратами пенообразователей. Так, для тушения пламени бензина критическая интенсивность подачи 100-кратной пены должна составлять каждую секунду 0,035 кг на 1 м^2 горящей поверхности.

В последние годы синтезирована новая группа поверхностно-активных веществ – *элементоорганические ПАВ*. В гидрофобной части молекулы этих соединений находятся атомы фтора, кремния и ряда других элементов, а полярная часть такая же, как и у обычных ионогенных веществ. Среди этих соединений большое практическое значение имеют перфторированные (полностью фторированные) ПАВ, которые успешно используются для тушения пожаров. Перфторированные ПАВ, называемые «лег-

кой водой», обеспечивают высокую надежность тушения горючих жидкостей за счет резкого уменьшения их испарения через пленку, образуемую ПАВ на горящей поверхности.

ПОЖИРАЮЩАЯ ПЛАМЯ

Тюки хлопка, находящиеся в трюме парохода, обильно полили керосином и... подожгли. Через некоторое время температура в трюме поднялась до 300°С, а по бакинскому морскому порту потянулись облака дыма. Когда пожар в трюме достиг своей вершины, последовала команда: «Дать пену!». Через две минуты температура в трюме была всего 90°С, а через семь минут пена выползла на палубу. Когда пена осела, показались почерневшие тюки хлопка, они уже не дымились. Так на Каспии пятнадцать лет назад провели одно из испытаний ВВМП – высокократной воздушно-механической пены, которую неофициально назвали «пожирающей пламя». Такая пена получается путем пропускания сложного раствора (вода, поверхностно-активное вещество, загуститель; этот раствор часто неправильно именуют эмульсией) через мелкую сетку в обычном пеногенераторе.

ПОЖАР СОЗДАЕТ ПЕНУ

При пожарах в зданиях и сооружениях (на заводах, складах, в кинотеатрах, аэропортах и др.) до того как начнется интенсивное тушение огня, строительные конструкции сильно нагреваются. При этом даже негорящие материалы претерпевают значительные изменения: бетон «взрывается» от закипания находящейся в нем воды и расширения составляющих, сталь деформируется, гранит растрескивается, в результате снижается прочность конструкций, что может привести к серьезным авариям. Особую остроту проблема защиты конструкций от разрушения при пожаре приобрела в настоящее время. Связано это с тем, что современные конструкции проектируются облегченными с применением тонкостенных высокопрочных железобетонных и стальных профилей, которые в сравнении с традиционными характеризуются пониженной огнестойкостью.

Для защиты несущих строительных конструкций от разрушения под действием огня применяются легкие штукатурки и облицовки из изоляционных материалов, но наиболее перспективны вспучивающиеся огнезащитные покрытия. Их наносят механизированными способами на колонны, балки, фермы, панели; при пожаре они вспучиваются, увеличиваясь в объеме и образуя твердую пену. Эта пена обладает высокими теплоизолирующими свойствами и за счет этого повышает во много раз предел огнестойкости строительных конструкций. Пена, которая не горит в огне!

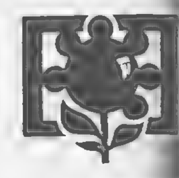
В отечественной и зарубежной практике широко применяются десятки различных огнезащитных вспучивающихся покрытий для металла, древесины, бетона, составы которых в большинстве случаев являются секретом страны или фирмы. Как правило, покрытия изготавливаются на основе полимерных смол. Такие смолы, лаки, эмали, главным образом на основе карбамидных и меламиноформальдегидных композиций, обладают хорошей укрывистостью, повышенной адгезией к металлу и древесине и способностью вспучиваться при нагревании за счет перехода в пластическое состояние. При высокотемпературном разложении смол образуется термостойкий угольный плав – угольная пена. В состав исходной композиции вводят различные добавки: меламин, мелем, мелон – для повышения термостойкости, стекловолокно – для упрочнения (армирования) образующихся при пожа-

ре угольных плавов (под действием огня стеклянные во-
локна оплавляются, защищая от выгорания оставшуюся
органическую часть покрытия). Композиция содержит
также антипирены (вещества, тормозящие возгорание
покрытия) и азотсодержащие или хлорсодержащие газо-
образователи. Эти газообразователи при высоких темпе-
ратурах разлагаются с выделением свободного азота или
хлора (газов, препятствующих горению), которые вспучи-
вают покрытие. Используются также покрытия на основе
жидкого стекла.

Вспучивающиеся огнестойкие покрытия наносят тол-
щиной 3–5 мм, при действии огня толщина вспененного
слоя достигает 55–65 мм. Это обеспечивает огнестой-
кость стальных конструкций в течение 45–60 мин. За это
время начнется активное тушение пожара, и зданию не
будет причинен существенный ущерб.

Огнезащитные вспучивающиеся покрытия нашли ши-
рокое применение для повышения огнестойкости
промышленных, выставочных и складских зданий со
стальными и алюминиевыми конструкциями, а также для
защиты от огня корпусов сухих доков в судостроении.
Используются они и в других областях.

ПЕНА И ЖИЗНЬ



ПЕНА МОРСКАЯ И РЕЧНАЯ

На берегах морей вдоль линии прибоя всегда можно ви-
деть валы пены. Откуда пена? Вспенивается морская во-
да из-за присутствия в ней органических веществ с высо-
кой поверхностной активностью – продуктов жизнедея-
тельности морской флоры и фауны. Иногда морская пена
причиняет немалый вред. В Японии, стране с ограничен-



ной посевной площадью, от пены страдают посевы: ве-
тер подхватывает клочья пены и разносит ее по полям,
гибнут растения, ибо в пене содержится соль.

Вместе с тем, как оказалось, морская пена может быть
и полезной. В морской пене содержатся помимо соли ве-
щества, обладающие высокой биологической актив-
ностью. Пенная жидкость ускоряет рост растений, повы-
шает выживаемость икринок кефали, креветок. «Пеной,
берегущей жизнь», назвал ее журналист, знакомившийся
с работами украинских ученых. Следовательно, морскую
пену можно превратить из «врага» растений и живых су-
ществ в их доброго друга и помощника.

А вот речная пена всегда была опасным и коварным
врагом человека. Пена – превосходная колыбель для разви-
тия микроорганизмов, и в том числе, вредных. В ней они
находят пищу, воздух, защиту. И еще недавно, до того
как были запрещены испытания атомного оружия в ат-
мосфере, пена на паводковой воде всегда отличалась по-
вышенным содержанием радиоактивных веществ.
С огромной поверхности снега на полях и в лесах осев-
шие продукты атомного взрыва попадали в воду...

НАРЗАН, ПЕНА И ЗДОРОВЬЕ

Пена, полученная из растворов электролитов, т.е. веществ, не обладающих поверхностной активностью, очень быстро, за доли секунды, разрушается. Обычная газированная вода представляет собой раствор углекислоты (электролит). Когда мы наливаем «газировку» в стакан, т.е. снижаем давление, под которым она находилась в сатураторе, вода «вскипает» – это выделяются пузырьки CO_2. Пузырьки недолговечны и быстро исчезают.

Нарзан, ессентуки, боржоми дают пену несколько более устойчивую. Больше пены у шампанского: в нем содержатся примеси органических веществ – пенообразователей.

Известно, что отсутствует лечебный эффект у минеральной воды, полученной растворением чистой соли и соответствующей по составу ессентукам или нарзану. Низок эффект искусственного нарзана, полученного выпариванием воды природного источника и последующим растворением солевого остатка в чистой воде. Очевидно, отсутствие газовых пузырьков уменьшает целебное действие этих солевых растворов.

Специалисты-бальнеологи считают, что лечебный эффект знаменитых нарзанных ванн связан не только с солевым составом вод, но и с образованием газовых пузырьков, которые оседают на теле человека, принимающего такую процедуру. Пузырьки увеличивают на коже концентрацию солей и CO_2, отчего усиливаются обменные процессы в организме и улучшается общее состояние пациента.

Нельзя ли усилить целебное действие ванн небольшой добавкой пенообразователей? Насколько нам известно, таких опытов врачи не проводили. А может быть, смесь соответствующих солей с добавкой пенообразователей

обладает большим лечебным эффектом? Ведь при этом замедлится выход CO_2 из минеральной воды, а значит, увеличится насыщенность ее пузырьками.

Врачи используют пену не только для активного воздействия на организм человека через кожу. В поликлиниках, больницах, многих детских садах широко практикуется лечебная процедура, именуемая «кислородный напиток», «коктейль» или просто «пенка». Речь идет о введении кислорода в желудок. Процедуру назначают при кислородном голодании, лечении ряда болезней, например язвы желудка, при низком содержании гемоглобина, общем ослаблении организма. Вместо зонда – резинового шланга с кислородом – пациент глотает вкусную пену. Ее приготавливают из соков, витаминов, молока, глюкозы, белка и обильно насыщают кислородом, а в ряде случаев и лекарствами; пену набирают ложечкой или пьют через трубочку как коктейль – приятно и полезно. Особенно по вкусу такое лекарство детям.

ПЕНА ВО РТУ

Слюна образует хорошую пену, а так как пена устойчива только при наличии в растворе ПАВ, представляется возможным утверждать, что такие вещества в слюне присутствуют. И действительно, в слюне обнаружено белковое вещество муцин, которое способствует образованию мельчайшей пены, обволакивающей размельченную зубами пищу.

Вспенивание увеличивает объем слюны во рту и резко повышает поверхность соприкосновения слюны и пищи. В результате смачивается слюной вся пища. Способность слюны образовывать высокодисперсную и прочную пену делает возможным само поступление пищи в желудок. Находясь во рту 16–18 с, пища смачивается большим количеством слюны (10 г яблок – 2 г слюны, 10 г суха-

ря – 25 г слюны). Всего за сутки более полутора литро[в]. Пена сообщает комку пищи скользкость, облегча[я] прохождение в глотку, а затем в пищевод. Вместе [со] слюной в желудок поступает и воздух, без которого [не] могут нормально протекать процессы пищеварения.

ПЕНА ВНУТРИ НАС

Велосипед почти целиком построен из трубок. Труб[ча]тую конструкцию имеют мачты, многие детали самоле[]тов, мотоциклов и других машин. Трубка с толстой сте[н]кой не менее прочна, чем сплошной стержень такого [же] сечения.

Но трубка значительно легче стержня, и для ее изго[]товления нужно меньше материала, например металл[а]. Поэтому так широко использует человек трубчатые кон[]струкции. Легко и очень надежно. Ну, а сам человек? Природа позаботилась и «облегчила» нас. Это прежд[е] всего касается скелета. Некоторые наши кости имею[т] трубчатое строение. Например, трубчатой является бедренная кость, она выдерживает нагрузку на продольный изгиб до двух тонн. Большинство костей, так называемые губчатые, представляют собой твердую пену со специфической формой твердых перегородок. Расположение этих стенок-перегородок сходно с кружевными фермами мостов и мостовых кранов, сводов и перекрытий зданий. В таких костях высокая прочность сочетается с минимальной массой. (Напомним, что слово *скелет* заимствовано из греческого и буквально означает *сухой, высохший*.)

Еще легче кости птиц и морских зверей.

Пенную структуру имеют не только кости. По выражению Якова Исидоровича Перельмана, автора ряда занимательных научно-популярных книг, для большинства людей миллион (10^6) как величина остается «знакомым незнакомцем» – так редко с ним встречается человек в повседневной жизни и так трудно его себе представить физически. Но именно такой величиной нужно оперировать, чтобы объяснить, что поверхность легочных пузырьков – этой пеноподобной системы – составляет около миллиона квадратных сантиметров.

Жировые отложения в теле – тоже пена. Пенистую структуру имеют волосы.

ПЕНА – ЗАЩИТНИЦА ЛЕГКИХ

Перед тем, как нанести покрытие из цветного металла (цинка, меди, олова, никеля и других) на железные листы или детали, их травят в травильных ваннах кислотами, в которые вводят специальные добавки. Такие ванны всегда «парят»; из них выделяются пары вредных веществ, опасные для здоровья человека. Местная вентиляция очищает воздух, но при этом возникают сквозняки и повышенный шум. Простой путь борьбы с этими выделениями – создание пенного слоя на поверхности ванны. Например, для уменьшения выноса токсичного оксида хрома в электролит, применяемый для хромирования, вводят препарат хромин (2–3 грамма на литр). С помощью этого или других поверхностно-активных веществ создают защитный слой пены на поверхности кислотных ванн, например, при травлении железа перед нанесением эмали.

ГНЕЗДА И ДОМИКИ ИЗ ПЕНЫ

Под балконом или карнизом, в углу оконного проема крылатые строители – ласточки поселяются на один сезон. Из мелких травинок, влажной земли, смачиваемых пенистой слюной, создают они свои домики. Ратуя за чистоту зданий, иные ретивые хозяева разрушают эти бес-

проектные сооружения, хотя достаточно побрызгать такие «дачки» снаружи раствором извести или мела, и они станут незаметными. Природа распорядилась мудро, наделив длиннокрылых строителей способностью создавать легкий материал, своего рода пеносаман. Будь этот материал сплошным, а значит, и более тяжелым, гнездо могло бы рухнуть вместе с обитателями.

Строят жилье из пены и насекомые. Многие из вас, наверное, замечали, что с веток ив, растущих по берегам прудов, рек, падают капли воды при самом безоблачном небе. Остановитесь, присмотритесь повнимательнее к дереву, и вы заметите, что капли выпадают из комочков пены, прикрепленных к листьям. Такие комочки можно увидеть и на стеблях травы, и на кустах; в народе их называют «кукушкины слюнки».

Создает пенную сумочку крохотное насекомое – пенница (*Aphrophoridae*), родственница цикад. Взрослые пенницы хорошо летают и прыгают, а вот их личинки малоподвижны, именно они выделяют пену, скопления которой служат им жильем (отсюда и пошло название этих насекомых). Один из видов пенниц так и называется – «пенница слюнявая»; это садовый вредитель, он обитает на стеблях и листьях земляники, смородины, плодовых деревьев, роз.

ПРОТИВ ПТИЦ И НАСЕКОМЫХ

В феврале 1978 года в штатах Кентукки и Теннеси (США) был издан закон о борьбе с дроздами и скворцами. По неизвестным причинам именно в этих двух штатах обосновалось огромное число этих птиц, только в штате Кентукки до 77 миллионов. Асфальт стал скользким от помета, пострадали посевы. Среди людей началась эпидемия какой-то редкой болезни. Любопытно, что для ночлега эта гигантская стая избрала в штате Кентукки

площадку всего в 12 гектаров. Вот тут их и накрыли с вертолетов раствором моющего вещества «тергитол». Птиц практически окутали слоем пены, которая сняла с перьев защитный слой жира. Сразу почувствовав февральский холод, часть птиц пустилась в другие края, но многие птицы не сумели спастись и, увы, погибли.

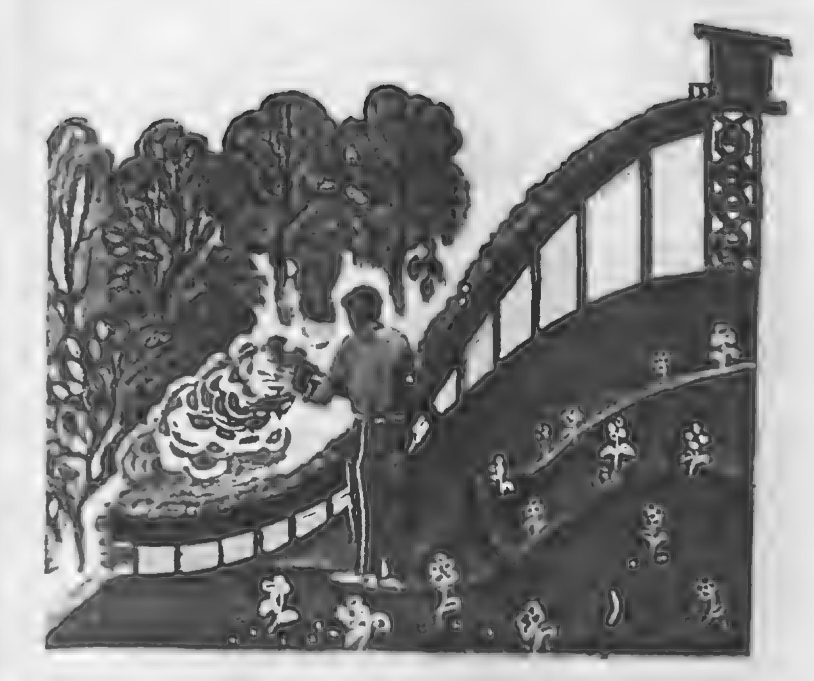
Борьбу с насекомыми-вредителями полезных растений, продуктов и материалов животного и растительного происхождения – люди ведут давно, и с переменным успехом. Большие надежды, возлагаемые когда-то на ДДТ, гексахлоран и другие химикаты, не оправдались. Со временем насекомые к ним привыкли, а вот для человека, полезных животных, рыбы и птиц они оказались далеко не безвредными. При опылении с самолетов инсектицидами больших территорий вместе с вредителями гибнут зайцы, косули и другие животные. Поэтому изыскиваются иные способы дезинсекции в полях и лесах, и один из них – отравление насекомых диоксидом серы (SO_2). Этот газ смертелен для большинства летающих и ползающих вредителей. Но обрабатывать газом поля бессмысленно, его уносит ветром, а большие концентрации и массированный пуск газа небезопасны. А вот если газ заключить в пену (вспенить им раствор поверхностно-активного вещества) и этой пеной обработать пораженные вредителями площади с помощью, например, пожарного автомобиля, то при движении автомобиля все птицы улетят, животные разбегутся, а насекомые в газовой среде погибнут. Пена через несколько часов разрушится, и поле или лес станут безопасными для человека и животных. Создаются такие отравляющие пены и для дератизации – борьбы с грызунами: крысами, мышами, хомяками в животноводческих помещениях. Опыты оказались удачными. Такая дератизация выполняется за несколько часов (ее можно провести, например, во время дневного выпаса животных). Пена быстро разрушается, ее остатки легко смыть водой.

ПЕНА И СПОРТ

Вторжение химических материалов в спорт явно способствовало его массовости и повышению спортивных результатов. Синтетические покрытия повышенной эластичности в спортивных залах, на площадках и беговых дорожках ускорили бег спринтеров и стайеров; шесты из стеклопластика позволили выше взлетать прыгунам; цветные ковры на кортах сделали теннис более зрелищным и ярким. Не остались без «спортивной нагрузки» и пеноматериалы.

Эластичные пенопластмассы и пенорезина – это удобные ботинки для горнолыжного спорта и тренировочные туфли, защитные доспехи ледовых бойцов – хоккеистов; это маты для ям приземления, сменившие стружки и опилки в секторах для прыжков в высоту. Менее эластичные пенопластмассы используются для гимнастических матов, ими оборудуют площадки для борьбы, боксерские ринги. Жесткие высокопрочные пенопластмассы, например, на основе эпоксидной смолы – пеноэпоксид – идут на изготовление «вечных» слаломных лыж. Такие пеноэпоксидные лыжи, офактуренные снаружи армированной эпоксидной смолой, очень легки, не требуют смазки, окантовки ребер металлом, хорошо пружинят и позволяют развивать очень высокие скорости на спортивных трассах – до 180 км/ч. Были также изготовлены пробные партии отечественных беговых лыж с «начинкой» из пенопластмасс.

Оригинально используется пена на лыжных трамплинах. Чтобы летающие лыжники могли тренироваться круглый год, трамплины покрывают длинноворсистым синтетическим материалом, уменьшающим трение между лыжей и поверхностью трамплина. Если нанести на этот материал пену из водно-полимерных растворов, увеличится скольжение и возрастет дальность полета. Поэтому нередко летом около трамплина можно увидеть пеногенераторную установку, а рядом с тренером – специалиста по приготовлению пены.



Пена оказалась удобной «подстилкой» для прыгунов в воду. Такую подушку предложили специалисты в области гидродинамики из двух московских институтов – авиационного и гидромелиоративного – и опробовали в плавательном бассейне «Чайка», в котором тренируются и соревнуются прыгуны с вышки.

Спортсмены во время тренировок совершают ежедневно по 90–120 прыжков. У начинающих прыгунов, а также при отработке сложных пируэтов не все прыжки бывают удачными. Удар о воду животом или спиной при прыжке с 10-метровой вышки не проходит бесследно. Многие из читателей наверняка испытали это в детстве, прыгая в воду даже с меньшей высоты.

В бассейне «Чайка» пенная подушка гарантирует безопасность спортсмену даже при неудачном вхождении в воду; она в 80–100 раз ослабляет удар о водную поверхность.

Система для создания пены в бассейне очень проста. Постоянно работающий компрессор накачивает в специальные резервуары сжатый воздух. По сигналу с пульта управления открываются магнитные заслонки и воздух под давлением через сетку с мелкими ячейками врывается в бассейн. Вода вскипает, образуя пену. Эта пена «живет» только до тех пор, пока в бассейн подается воздух. Поэтому вышки для прыжков оборудованы светофорами. При красном свете подачи воздуха нет, вода плотная и «жесткая», при желтом свете открываются заслонки и пузырьки воздуха начинают подниматься к поверхности воды, вспенивая ее; спортсмен начинает готовиться к прыжку. Зеленый цвет – пенная подушка готова, и прыгун устремляется в серебристую сверкающую пену.

ПЕНА ДЕЛАЕТ НАС КРАСИВЕЕ

Предметы личной гигиены и пена неразделимы. Пена заключена в куске мыла, во флаконе шампуня, в составах для ванны и креме для бритья, в краске для волос, тюбике с зубной пастой и в прочей парфюмерии, которая позволяет нам выглядеть молодо, быть красивыми, ощущать свежесть и бодрость.

Промышленность выпускает громадные количества гигиенических, косметических и парфюмерных препаратов различного назначения, действие которых основано на свойстве образовывать пену, и все они, как правило, в аэрозольной упаковке.

Пена из баллончика легко наносится на кожу и волосы, ложится тонким и равномерным слоем, может долго сохраняться, не изменяя свойств. В зависимости от

состава основного продукта и вида пропеллента – газа, обеспечивающего вспенивание и распыление пены из баллона,– эти пены могут быть устойчивыми или быстроразрушающимися. Пены шампуней должны быть высокократными и устойчивыми даже в присутствии жировых загрязнений, пены для бритья – хорошо смачивать кожу и волосы, быть устойчивыми при повышенных температурах; а вот пенные дезодоранты, краски для волос, средства после бритья, смягчители кожи должны очень быстро разрушаться, оставляя на поверхности кожи или волос тонкий слой косметического средства.

Косметический препарат в аэрозольном баллоне должен быть легколетучим, иначе вспенивание будет затруднено. Поэтому обычно его растворяют в смеси воды и спирта, в воде, иногда в органическом растворителе. В качестве пропеллентов используют фреоны различных марок, реже другие сжатые газы. В аэрозольном баллоне на долю пропеллента приходится всего 10–12% объема, поэтому даже при большой порции основного продукта баллончики могут быть очень компактными.

Аэрозольная упаковка для пены совершенствуется. Придумали, например, даже баллончики с теплой аэрозольной пеной для бритья. Подогретая пена – это гораздо приятнее, чем холодный крем. Баллон разделен на два отсека, в одном содержится окислитель (например, пероксид водорода), а в другом – окисляющееся вещество и основное вещество. При нажатии на головку клапана вещества из обоих отделений смешиваются, происходит окислительно-восстановительная реакция с выделением тепла, и образующаяся пена разогревается.

Пена стала важным компонентом зубных паст. Белые, зеленые, голубые, розовые пасты, выдавленные из тюбика в небольшом количестве на зубную щетку, образуют во рту обильную пену. Эта пена не только хорошо очищает зубы и всю полость рта, но и обеспечивает доставку ко всем дефектным участкам зубов активных препара-

тов, вводимых в состав паст. Проникая даже в мельча[йшие] трещины зубной эмали, такая паста укрепляет е[е] и предотвращает кариес. Ароматная цветная пена дела[ет] процедуру чистки зубов приятной даже для капризн[ых] детей.

ШУБА ИЗ ПЕНЫ

Из пены действительно изготавливают шубы самого ра[з]нообразного назначения. Прежде всего – это зимняя вер[х]няя одежда: пальто, рабочие и спортивные куртки, спец[]одежда. Ее делают из дублированных материалов: вер[х] из замши, плотных ворсистых и плащевых тканей, найл[о]на, облегченного брезента, а утепляющий слой – шубу – [из] эластичного пенополиуретана (поролона). Ткань и пор[о]лон при дублировании столь плотно склеиваются, ч[то] разъединить их невозможно. Получается легкая, прочная теплая, непродуваемая и элегантная зимняя одежда.

Шубу или одеяло из пены делают для растений, кар[ь]еров, озер или даже для свалок.

К весенним заморозкам особенно чувствительна рас[]сада овощей. Для защиты нежных растений практикуют футляры из бумаги, создают дымовые завесы. Может для этой цели служить и пена. Одна из канадских фирм выпускает пеноматериал, который наносится в виде жидкости прямо на растения и затвердевает. Пена нетоксична и разлагается через 48 ч. Более прочную пену – мочевиноформальдегидную – используют для таких же целей в Англии. Она более долговечна, а разлагаясь, обогащает почву питательными веществами – как видим, польза двойная.

Очень скоро пенную шубу можно будет увидеть и на свалке.

Выбросить на свалку.... Это выражение имеет десятки оттенков, но мы имеем в виду именно ту самую свалку, на которую попадают различные отходы. Кстати, на



Ни мороз им не страшен, ни жара.

свалку каждый житель большого города выбрасывает за год до тонны бумаги, битого стекла, старой одежды, консервных банок и многого другого. Миллион жителей – миллион тонн отходов. Их нужно собрать, вывезти, захоронить... Конечно, не все в этом мусоре отбросы. Это, если быть точным, сырье, которое мы не используем или еще не научились использовать.

Уже сейчас практикуется промышленная переработка мусора на специальных заводах, которая предусматривает его классификацию, т. е. разборку по категориям (металлы, стекло, кости – отдельно, бумага, тряпье – отдельно). Все, что осталось после такой сортировки, сжигается под паровыми котлами. Пока так делается в порядке первого опыта в нескольких городах. Основная масса мусора по-прежнему идет на свалку. Но просто выбросить нельзя, даже при последующем сжигании. Нужно выкопать траншеи, загрузить их мусором, а затем засыпать землей. Не так уж просто! Мусор на поверхности земли – это источник инфекций, дурных запахов, пристанище для грызунов, мух.

Сейчас в порядке проверки в ряде стран груды мусора на свалках покрывают слоем быстротвердеющей пены,

например, из полиуретана. Под пеной быстро начинается бактериальное разложение, объем мусора уменьшается, однако эластичная пена надежно покрывает его. Мусор защищен от грызунов, покрытие защищает от запахов и от мух. При сжигании мусора сама пена служит источником теплоты для активного горения неразложившихся остатков.

ПЕНА ХРАНИТ ТЕПЛО

Для теплоизоляции бетона, для защиты грунта от промерзания, а также для утепления опалубки при зимних бетонных работах применяют быстротвердеющую пену. Исходные материалы для получения такой пены: пенообразователь, мочевиноформальдегидная смола, вода, воздух; затвердевание ускоряется в присутствии соляной кислоты. Для получения 1 м³ быстротвердеющей пены кратностью 20 необходимо около 15 кг смолы, 2 кг пенообразователя ПО-1 и около 2 кг 20%-ной соляной кислоты. Слой пены толщиной 4–5 см выдерживают около 10 мин, затем наносят второй и последующие слои до нужной толщины. После испарения воды объемная масса пены составляет до 20 кг/м³, а прочность – около 0,01 МПа. Она выдерживает 50 циклов замораживания и оттаивания, но ходить по ней, конечно, нельзя. Теплопроводность такой теплоизоляции очень низкая.

Пенное «одеяло» помогает вести разработку полезных ископаемых открытым способом зимой. В карьерах даже при 50-градусном морозе ковши экскаваторов легко черпают грунт. Нет следов от костров или взрывов. Почву не отогревают и не рыхлят. Грунт защищают от промерзания быстротвердеющие пеносоставы. Пеноизоляцию подготавливают осенью, чтобы сохранить тепло, накопленное грунтом за лето. В результате грунт остывает

и промерзает очень медленно и цементация мерзлых пород (омоноличивание льдом) почти не происходит.

Пеносоставы на незамерзший грунт наносят с помощью пеноствола вручную или обычной поливальной машиной. Вначале образуется подвижная пена, свободно растекающаяся по земле и заполняющая все ее неровности; через 8–10 мин пена затвердевает, сохраняя высокопористую ячеистую структуру. Теплозащитные свойства пены не ухудшаются за все время эксплуатации.

Полимерную пену можно получать, вспенивая смесь карбамидной смолы, воды, кислоты и пенообразователя сжатым воздухом в специальном смесителе; затем смесь поступает в шланг и постепенно расширяется при движении по шлангу. Полимерная пена, полученная по такой технологии, имеет высокую кратность; она намного дешевле известных вспененных пластмасс; расход смолы незначителен.

Полимерной пеной защищают от подмораживания бурты сахарной свеклы. Такое пенное «одеяло» позволяет значительно улучшить качество сырья и уменьшить потери сахара в свекле.

Пена успешно помогает решать и прямо противоположные задачи: в известняковых карьерах, например, пена защищает грунт от размораживания, когда в этом есть необходимость.

ТЕПЛЫЙ ЛЕД

Пены из водных растворов поверхностно-активных веществ, замерзая при отрицательных температурах, образуют сверхлегкий лед, или, как его называют в технике, пенолед. Этот насыщенный воздухом лед плохо проводит тепло, т. е. теплопроводность у него как у хорошего теплоизолятора: по теплоизоляционным свойствам слой пенольда равноценен сухой древесине такой же толщины. Его просто получать, и он очень дешев, специалисты ре-

комендуют пенолед для применения в строительстве и горнодобывающей промышленности в северных районах страны. Пену получают с помощью пожарного пеноствола из дешевых пенообразователей – раствора ССБ (сульфитно-спиртовая барда) и ДП (древесный пек). Один объем раствора дает до 50 объемов пены.

Очень выгодно использовать пенолед как теплозащитное покрывало при хранении силоса, для укрывания складов обычного льда, хранилищ свеклы и других овощей.

Но особенно эффективно «работает» пенолед в карьерах, и в первую очередь в карьерах с большой площадью разработки, защищая их от промерзания.

Пенолед надежно предохраняет от смерзания штабели песка, щебня, глины. Без утепления влажные сыпучие материалы на заводах строительных изделий смерзаются настолько, что их невозможно использовать, пока они полностью не оттают.

С помощью пенольда регулируют толщину льда на водоемах и реках в условиях отрицательных температур. В одних случаях пенолед применяют для того, чтобы ледовое покрытие оставалось тонким в течение всей зимы. Для этого намораживают пенолед в начале зимы на еще тонкий ледовый слой. Разбить такое покрытие не сложно, в результате судоходство может продолжаться и зимой; для этого не нужны мощные ледоколы. Еще несколько примеров, когда пенолед помогал сохранить ледовое покрытие тонким: при добыче золота драгами с воды, при прокладке трубопроводов через водные преграды, в прудах и реках для борьбы с заморами рыбы. Вместе с тем нередки случаи, когда необходимо, чтобы слой льда был толстым. Пример: по зимникам – автомобильным дорогам через топи, болота, реки, зоны затопления – движение возможно, если только ледовое основание толстое. Пенолед делает его более долговечным: весной пенолед тает медленно, предохраняя основной ледовый слой от действия солнца и теплого воздуха.

СЛАДКАЯ ПЕНА

Начнем с категорического утверждения технологов-пищевиков: «всякая пена – это основа правильного вкусового восприятия». Во вспененном состоянии любая жидкость имеет максимальную поверхность, это очевидно. Физиологи утверждают, что восприимчивость к вкусу на различных участках языка не одинакова. Установлено, что центральный участок языка вообще безразличен к вкусовым раздражениям, зато корень, кончик и края обладают высокой чувствительностью. Кончик языка воспринимает лучше сладкое, корень (задняя часть языка) – горькое. На кислое сильнее реагируют края языка, а на соленое – кончик. Один грамм сахара, растворенный в 100 граммах воды, уже ощутим. Хинин дает о себе знать, если 1 грамм его растворен в 35 литрах воды. Наш язык ощущает серную кислоту, если ее всего 1 г в центнере воды (100 кг), сахарин – в концентрации 0,5 г в 100 000 л, ядовитый стрихнин – 1 г в двух тоннах. Еще более чувствителен к вкусовым раздражениям язык животных. Не потому ли так трудно обмануть волка или крысу при попытке отравить их ядами?

Но вернемся к пене. Итак, для усиления восприятия вкуса пищу нужно вспенить. Тогда даже малая порция пищи попадает на все участки языка и вероятность правильно ощутить вкус заметно возрастает. Поэтому дегустаторы чая, вина, различных напитков «жуют» жидкость, смешивая ее со слюной, а слюна – отличный пенообразователь. Иногда просто вспенивают содержимое бокала, встряхивая его.

Издавна пена является составной частью многих продуктов питания. Пышная и стойкая пена делает нашу пищу более привлекательной, разнообразной и удобоваримой.

Особым почетом пользуются белковые и другие съедобные пены у кондитеров. Сбитая смесь белка с саха-

ром – знаменитое безе. Добавляя в эту смесь толченые орехи, сиропы, сгущенное молоко, выпекают вкусный торт «Полет», нежные конфеты «Суфле», и популярные «Птичье молоко», и различные восточные сладости, и кремы для тортов и пирожных и многие другие деликатесы. Пастила – старинное традиционное русское лакомство, ее готовят, взбивая фруктово-ягодное пюре с сахаром и яичным белком. В пастиле всего 1,5% белка (в зефире 8%), немного сахара, а остальное – воздух. Для стабилизации пышной пены в массу добавляют горячий агаровый сироп. Остывая, масса становится желеобразной, ее затем слегка подсушивают, и пастила готова.

Халву тоже готовят с применением пенообразователей. Для этого используют экстракт мыльного корня. Сапонины, содержащиеся в экстракте, дают высокократные и высокостойкие пены. К сожалению, эти пены имеют специфичный привкус, и наш организм к ним не безразличен.

Пена – необходимая составная часть мороженого. Без нее мороженое получается тяжелым, льдистым и быстро тает. Для насыщения мороженого воздухом (пеной) сбивают смесь во фризере (аппарате для замораживания). По взбиваемости смеси технологи судят о качестве этого полезного и вкусного продукта, а покупатели оценивают его по вкусу: плохо взбитое мороженое менее вкусно.

Если же говорить о пенках на варенье, то они действительно концентрируют вкус тех ягод или фруктов, из которых варенье варят. При нагревании из плодов выделяется воздух. Встречаясь с поверхностно-активными веществами, содержащимися в ягодах, воздух образует сладкую пену. Пузырьки воздуха, поднимаясь со дна, увлекают за собой зерна, ягоды и все твердые не отмытые от ягод частички грязи. Одно утешает, что пенки образуются уже при кипении. Это свыше 100°C (так кипят концентрированные растворы), при такой температуре высокая стерильность обеспечена. Впрочем, главные

потребители пенок – дети – об этом не знают.

Еще более интенсивное пенообразование наблюдается при сахароварении в промышленных вакуум-аппаратах, при упаривании сахарного сиропа. Но это явление нежелательное, так как оно снижает производительность технологического оборудования. При варке варенья и производстве сахара главным пенообразователем является сапонин, а сахар лишь увеличивает вязкость жидкости, из которой образуется пена, и повышает ее устойчивость.

Но не только для приготовления лакомств используют пену. Расскажем о белковой «химчистке». Накипь из пены, образующуюся в кастрюле с бульоном, обычно удаляют. Чем она полнее удалена, тем светлее и аппетитнее бульон. Количество пены зависит от сорта мяса, его чистоты, качества воды и от способа варки: если мясо кладут в кипяток, то белки быстро коагулируют, пены образуется мало и бульон получается непрозрачным. Поэтому все поваренные книги настоятельно рекомендуют закладывать мясо для варки в холодную воду. Ну, а если бульон получился все-таки мутным, то его охлаждают и добавляют немного взбитого яичного белка. При нагревании пена устремляется к поверхности, захватывая из объема бульона все мелкие включения, делающие его мутным.

Такую же белковую «химчистку» широко используют в пищевой промышленности для осветления сахарных сиропов, при производстве компотов и других продуктов.

ЛЮБИТЕЛЯМ ЧАЯ

Для любителей чая главное в нем – аромат. В какой-то степени и цвет. А полное определение качества чая предусматривает и характеристику его пенообразующей способности. Навеску чая заливают при определенных условиях известным количеством воды. Через некоторое

время фильтруют, помещают в склянку с притертой пробкой и встряхивают. Измеряют объем образовавшейся пены и время, за которое ее объем уменьшится наполовину.

Интересно, что по наличию или отсутствию пены оценивают качество сухого заварочного продукта, технологию приготовления напитка и качество воды. Если в свежезаваренном чае образуется бурая пена, она при всей своей внешней непривлекательности свидетельствует о высоких вкусовых качествах напитка. Появление именно такой пены означает, что из сухого чая достаточно полно экстрагировались ароматические и тонизирующие вещества; появилась пена – пора приступать к чаепитию. Обильная, но чистая пена указывает на то, что вода не докипела, вкус чая будет хуже. Если пены нет, напиток будет совсем безвкусным: либо чай оказался лежалым или низкосортным, либо вода была слишком жесткой или долго кипела и утратила весь растворенный в ней кислород.

ЛЮБИТЕЛЯМ ПИВА

В недалеком прошлом пиво именовали «жидким хлебом» и подсчитывали, сколько калорий содержится в каждой кружке. Когда масштабы потребления пива возросли, начали связывать кружки пива не только с калориями, но и с авариями. Теперь медики и автоинспекторы отрицательно относятся к ярым любителям пива: первые – потому что любителям пива угрожает избыточный вес, вторые – потому что растет число дорожных происшествий, в которых повинна «кружка пива». И все же пиво было и остается прекрасно утоляющим жажду напитком.

Без стойкой пены не бывает хорошего пива. Это главный показатель его свежести и высокого качества. В будущем пиве пена появляется уже в первые сутки брожения сусла. В ходе брожения в чанах сначала появляется так называемый забел – тонкий слой белой пены на поверхности. Потом пена накапливается, образуя характерные завитки и шапки. Хмелевые смолы окрашивают ее в коричневый цвет. Постепенно дрожжи оседают, завитки пропадают и на поверхности остается темная пленка. Пиво готово. Его разливают в бутылки, металлические банки, бочки и закупоривают. Процесс брожения приводит к накоплению в пиве CO_2, который предохраняет пивные составляющие от окисления и придает пиву полноту вкуса. При розливе давление падает и CO_2 стремится вырваться из кружки. В отличие от боржоми, лимонада или шампанского пиво содержит пенообразователи и стабилизаторы – хмелевые смолы, белки, декстрины, меланоидины и др. На поверхности пива образуется пена, без которой мы не представляем себе пива.

Специальный ГОСТ предписывает способ определения пены в пиве и ее показатели. Так, для бутылочного пива высота пены – не менее 20 мм, а пеностойкость – не менее 2 мин. Чем лучше пиво, тем выше стойкость пены. Пена должна иметь мелкие ячейки или, как говорят специалисты, быть компактной. Откуда же в пиве появляются пенообразователи? Главный их поставщик – солод. На его основе и готовят пиво. Для получения солода используют ячмень. Его проращивают на пивных заводах в специальных помещениях. Для этого предварительно увлажненные зерна ячменя рассыпают не очень толстым слоем на теплых поддонах и часто перелопачивают. В этих условиях в зерне пробуждается жизнь и появляется росток (кстати, очень горький на вкус). Сразу после этого зерна с ростком подсушивают, а затем приступают к главному процессу – варке пива. Водные экстракты солода содержат прекрасный пенообразователь.

ПЕНА ДЛЯ СТРОИТЕЛЕЙ

Строительство – самая материалоемкая сфера деятельности человека. Для возведения жилых и промышленных зданий, спортивных сооружений и сельскохозяйственных построек необходимо извлечь из недр, подготовить, доставить на заводы и переработать в цемент, кирпич, бетон и железобетонные изделия огромные количества щебня, гравия, песка, глины и других материалов. Готовые изделия надо погрузить, доставить на стройку, поднять и смонтировать. В Советском Союзе за год производится более 1,5 млрд. тонн различных строительных материалов, на их долю приходится треть железнодорожных и автомобильных перевозок. Только щебня и песка ежегодно добывается столько, что из них можно было бы проложить современную автомагистраль длиной, равной расстоянию от Земли до Луны.

Поэтому ученые ищут способы облегчить строительные изделия и сооружения, увеличить объем конструкций, получаемых из каждой тонны добытого сырья. Самый простой и эффективный способ – насыщение строительных материалов воздухом или другим газом. Так производят легкие бетоны для стен домов, теплоизоляцию для зданий, холодильников, вагонов, акустические материалы для концертных залов, больниц, школ и т.д. Дома из облегченных материалов дешевле, легче, теплее и строят их быстрее.

ПЛАВАЮЩИЕ КАМНИ

В Большой советской энциклопедии можно найти такое определение: «Камень (в технике) – каменные материалы, используемые для технических целей». Есть в БСЭ также термин «камни бетонные – общее название большой группы искусственных каменных материалов...» Есть «каменные бабы» и «птицы-каменщики», «каменные голуби», «каменные воробьи», «каменные петушки», «каменный дуб», «каменные рыбы». Наконец, просто «каменный век». Но нет слов «плавающие камни». Такое словосочетание звучит как-то непривычно, вроде «сухая вода», «жаркий холод» или «горячее мороженое». Если уж камень, то он должен тонуть как «камень в воде», а не плавать.

Но вопреки всему сказанному, современная промышленность ежегодно изготавливает миллионы тонн именно плавающих камней. Из цемента и глины, из гипса и золы, из стекла и природных камней.

Известны природные пористые материалы – твердые минеральные пены, их издавна применяют в строительстве. Это продукты деятельности вулканов – излившиеся породы типа пемзы и туфов. Один кубометр таких пород в 3–5 раз легче плотных природных материалов – базальтов, гранитов. Однако пемзы и туфы по свойствам неоднородны.

В современном строительстве все шире производят и применяют искусственные пористые материалы. Их изготавливают на основе природного сырья и искусственных композиций.

Армения, Украина, Забайкалье, Сахалин, Камчатка и другие районы Советского Союза богаты залежами стеклообразной вулканической породы, называемой перлитом. Перлиты встречаются в Греции, Северной Африке, США и в других странах, они служат сырьем для производства очень легкого заполнителя для бетонов и теплоизоляционных материалов – вспученного перлита.

В СССР и США имеются залежи слюдообразного материала – вермикулита. Из него получают вспученный вермикулит – легкие золотистые зерна.

В Карелии возле села Шунга открыты мощные месторождения весьма редкого минерала – шунгита. На 70% он состоит из углеподобного вещества, остальное – диоксид кремния, оксид алюминия и небольшие количества соеди-

нений более редких элементов (молибдена, ванадия, титана). Черные или графитно-серые пласты выходят прямо на поверхность. Если этот минерал подвергнуть обжигу, получается легкий и прочный материал шунгизит, объем которого в 4–5 раз больше исходного.

Легкие пористые заполнители для строительства изготавливают также из специальных, так называемых вспучивающихся глин. Эти глины отличаются повышенным содержанием железистых и органических примесей. К ним добавляют органические вещества (мазут, соляровое масло, уголь), что усиливает вспучивание глины при обжиге. Так на заводах производят керамзит.

Особо легкие неорганические строительные материалы создают вспучиванием искусственных композиций на основе жидкого стекла – прозрачной вязкой жидкости. Последнее представляет собой щелочные силикаты; их изготавливают сплавлением соды и песка в печах при высоких температурах, сплав затем растворяют паром под давлением. От обычного оконного и тарного стекла оно отличается большим содержанием щелочи. При нагревании жидкое стекло сильно вспучивается, давая белую твердую пену, содержащую 97–99% воздуха. Получаемый материал – стеклопор или силипор – в 30–50 раз легче воды.

Все перечисленные природные и искусственные материалы содержат равномерно распределенную по объему химически связанную воду. Эта вода интенсивно превращается в пар не при 100°С, а при более высоких температурах – от 400 до 900°С. При этом она увеличивается в объеме до 4000 раз. Твердые зерна перлита, шунгита, глины при такой температуре становятся пластичными и вспучиваются.

Вермикулит при обжиге увеличивается в объеме в 10–15 раз, а жидкое стекло в 20–40 раз. Таким образом, из 1 м^3 исходного сырья на заводах получают 10–15 м^3 легкого строительного материала.



Технология этих материалов проста: перлит, глину, вермикулит добывают в открытых карьерах, дробят до зерен заданного размера и обжигают в печах до полного вспучивания. Процесс вспучивания, как правило, длится несколько секунд, поэтому одна печь выдает в год несколько десятков тысяч кубических метров заполнителей.

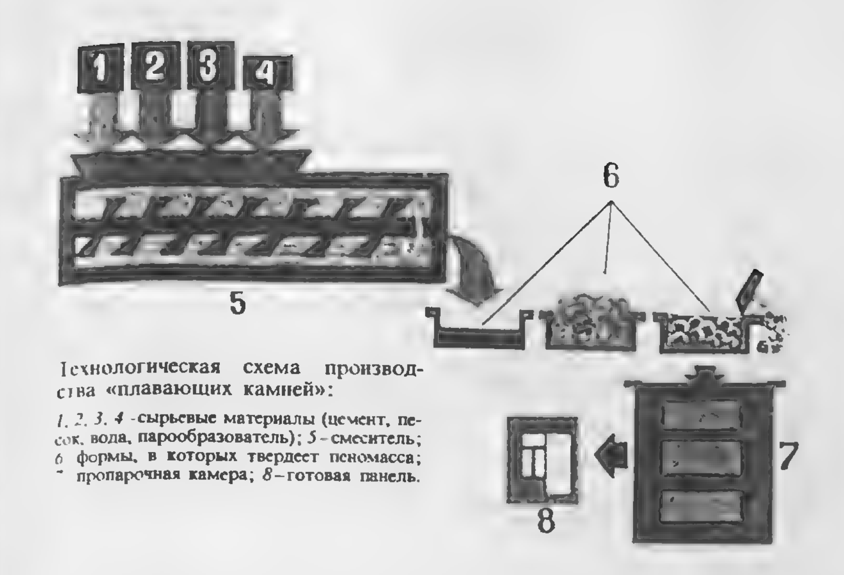
Вспученный перлит, вермикулит, керамзит широко используют как заполнитель для изготовления легких стеновых панелей жилых зданий и предприятий; стена из такого бетона в 2–2,5 раза легче кирпичной и железобетонной и в 2,5 раза тоньше; если сравнивать с традиционной кирпичной кладкой, то окажется, что из добычи и технологической переработки, доставки на стройку и монтажа исключается более 4 тонн материалов на каждый кубический метр стены. Легкие заполнители применяют при изготовлении декоративных, акустических и огнезащитных штукатурок для общественных зданий, при сооружении железобетонных судов, долговечных ав-

тострад, для теплоизоляции овощехранилищ, холодильников, энергетического оборудования и трубопроводов для выращивания овощей без грунта и во многих других отраслях народного хозяйства.

Вспученное жидкое стекло – стеклопор и силипор – не имеет себе равных как теплоизолятор. Это прекрасный материал для теплозащиты сжиженных газов при их хранении и транспортировке по трубам, для теплоизоляции бытовой холодильной техники, вагонов и судов, зданий различного назначения. Один кубический метр этих материалов весит всего 12–20 кг, они не горят, выдерживают высокие температуры. Их производство не требует сложного оборудования и очень компактно. Лицензии на технологию производства, разработанную в СССР, закуплены рядом зарубежных стран – Италией, Финляндией, Югославией. В разработке этой технологии принимал участие один их авторов этой книги.

«Плавающие камни» в виде плит и панелей производят на заводах. Строители получают твердые пены, вводя в искусственные композиции на основе цемента, глины, стекла специальные газообразователи, способные при взаимодействии со средой или при нагревании выделять газ. Так получают газобетоны и пенобетоны, пенокерамику, пеностекло.

Начало этому способу производства поризованных строительных материалов положил ячеистый бетон. Почти сто лет назад был опробован такой вариант: цемент, песок и воду смешали с шариками нафталина. Цемент твердел, а нафталин постепенно возгонялся. После того, как нафталин улетучивался полностью, в затвердевшем бетоне оставались сферические пустоты. В доме, построенном из таких бетонных блоков, одинаково плохо жилось и моли, и человеку – все пахло нафталином. К тому же бетон получался дорогим. Но этот экзотический способ дал начало новому направлению в производстве бетона.



Технологическая схема производства «плавающих камней»:

1, 2, 3, 4 - сырьевые материалы (цемент, песок, вода, парообразователь); *5* - смеситель; *6* - формы, в которых твердеет пеномасса; *7* - пропарочная камера; *8* - готовая панель.

В настоящее время объем производства ячеистых бетонов (газобетона и пенобетона) огромен, а в таких северных странах, как Швеция, из них сооружают стены почти всех индивидуальных и высотных жилых домов. Для изготовления газобетона используют в качестве порообразователя тонкоизмельченный алюминий – алюминиевую пудру. При взаимодействии 1 кг пудры со щелочью выделяется 1300–1400 л водорода, поэтому на 1 м^2 стены нужно всего 100–120 г алюминия. Смесь цемента, песка, воды и пудры заливается в формы на одну треть высоты, и выделяющийся газ вспучивает массу, которая, подобно хлебному тесту, заполняет всю форму. Над формой образуется горбушка, которую срезают раньше, чем цемент затвердеет, и повторно перерабатывают. Так получают легкие и прочные панели размером на одну-две комнаты. Дом из таких панелей монтируется очень быстро.

Пенобетон делают из цемента, песка, воды и пенообразователей. Вначале приготавливают «чистую» пену, затем ее смешивают с цементно-песчаным раствором. Пеномасса затвердевает за 12-15 часов; панели окончательно отделывают на заводе и готовыми доставляют на стройки. Если кирпичная стена имеет толщину 66 см и весит 1200 кг, то стена из ячеистого бетона соответственно всего 25 см и 150 кг.

Все больше привлекает строителей твердая пена из стекла – пеностекло. Этот материал состоит на 90% из воздуха, несущий остов материала выполняется из стекла; для этого годятся битые бутылки и оконное стекло. Это очень выгодный способ утилизации стеклянного боя, объемы которого во всем мире возрастают. Стеклобой измельчают в мельницах и смешивают с газообразователем (почти всегда – это измельченный уголь). Затем смесью заполняют металлические формы и обжигают. Получают блоки и плиты – прекрасный теплоизоляционный и звукопоглощающий материал. Пеностекло в 5–8 раз легче воды, в 20–22 раза легче стекла, не увлажняется и устойчиво во времени.

Строительство любого современного жилого дома, любого промышленного здания не обходится без применения твердых пен. Топливные ресурсы не безграничны, поэтому во всем мире изыскиваются пути экономии топлива – угля, нефти, газа. Большинству читателей известно, что ограничение скорости движения автомобильного транспорта, принятое в развитых странах, снижает расход бензина на 10-16%, но далеко не все из наших читателей знают, что на обогрев жилых и производственных помещений и подогрев воды для бытовых целей расходуется в странах Центральной Европы около половины всех топливных ресурсов, а в Канаде и Скандинавских странах эта цифра достигает 60-70%. Поэтому снижение потерь тепла через стены и окна зданий – один из самых реальных, перспективных и наиболее ощутимых

путей экономии топлива. Достигается это использованием пеноматериалов в качестве теплоизоляции стен, кровель, полов первых этажей зданий, дверей и даже оконных рам (их начали изготавливать из прочного пенополиуретана со стальной арматурой). Такое комплексное использование пеноматериалов позволяет снизить расход топлива на 30-45%.

В ФРГ построен экспериментальный дом, в котором «живут» не люди, а ЭВМ. По специальным программам они включают и выключают все бытовые приборы, имитируя приготовление пищи, стирку, уборку и т. д. ЭВМ точно учитывает расход топлива и энергии. Установлено, что описанная выше теплоизоляция, а также утилизация тепла отходящей сточной воды, покрытие стекол окон тонким слоем оксида олова (для уменьшения инфракрасного излучения наружу) снижает расход энергии на 60-65%, что позволит экономить только в ФРГ около 100 миллионов тонн жидкого и твердого топлива.

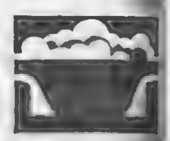
ПОКРЫВАЛО ДЛЯ ОЗЕРА И ДЛЯ ТАНКЕРА

Испарение воды с поверхности водоемов в жарких районах планеты – едва ли не главный источник потерь драгоценной влаги. Один из способов сокращения этих потерь состоит в создании на поверхности прудов и озер тончайших слоев из поверхностно-активных веществ типа высших жирных кислот и спиртов, нерастворимых в воде. Мономолекулярная пленка уменьшает испарение воды в 5-6 раз и не препятствует проникновению кислорода воздуха в воду. Однако у этого почти невесомого и невидимого «покрывала» есть один серьезный недостаток: малейший ветерок выбрасывает его вместе с волной на берег. Поэтому защитное покрытие надо утяжелить. Доступным и дешевым покрытием может быть поризованный камень. Плитками из пенобетона, обработанного

с поверхности гидрофобизирующим веществом, покрывают водоем и тем уменьшают испарение. В парках городов Индии на водоемах плавают декоративные лебеди, они тоже из пенобетона.

Этот же принцип используется для уменьшения испарения из различных резервуаров с бензином. О танкерах говорят, что они дышат. «Большое дыхание» бывает редко – в то время, когда танкер заполняют бензином. Воздух, насыщенный парами бензина, выдавливается из внутреннего пространства (танков). «Малое дыхание» происходит при смене дня и ночи: за день палуба нагревается и пары бензина выходят из предохранительных клапанов. С наступлением ночи палуба охлаждается и воздух поступает внутрь танкера. Между палубой танкера и поверхностью бензина имеется значительная пустая зона, которая и «выдыхает» бензин. Не удивительно, что в южных широтах палубу танкеров с нефтью или бензином поливают забортной водой. Для уменьшения испарения бензина в танкерах предлагали разные приемы. Один из них состоит в создании плавающего слоя из нерастворимых и несмачиваемых бензином вспененных пластмассовых шариков. Можно вместо шариков применять пластины из плавающей твердой пены.

БЕЗ ПЕНЫ НЕ БЫВАЕТ СТИРКИ



Ежегодно в мире производится несколько миллионов тонн моющих средств – поверхностно-активных веществ целевого назначения. Мыльный пузырек издавна служит символом чистоты. Мытье и стирку всегда связывают с пеной. В далекие времена, когда мыла еще не знали, стирка продолжалась долго и требовала больших усилий.

В древней Греции стирка, по описанию Гомера («Одиссея»), представляла следующую процедуру: женщины везли белье на тележках до углубления в глинистой почве, заполненного водой, и наперебой соперничали друг с другом в искусстве топтания белья. Затем белье мыли, полоскали, расстилали на берегу моря, волны били о берег, и белье промывалось гравием. Перед тем, как начать стирку, к белью добавляли глину, которая поглощала жир.

Плиний Старший (1 век до н.э.) упоминает мыло, которое готовили из жира и золы растений. Кстати, такую технологию мыловарения использовали и наши партизаны в годы Великой Отечественной войны.

Археологи установили, что уже 6000 лет назад существовало налаженное производство мыла. Такое мыло из растительного масла и золы или из козьего и бычьего сала с примесью золы бука (жидкое мыло и твердое) давало обильную и устойчивую пену. Часть этого мыла использовалась для стирки.

ТОЛЬКО МЫТЬЕМ, А НЕ КАТАНЬЕМ

Переставив слова в известной русской поговорке «не мытьем, так катаньем», мы в общих чертах определим сущность процесса очистки поверхности металла, ткани, дерева от твердых и жидких загрязнений. Однако чистое белье можно получить только мытьем!

Мы уже говорили, что процесс мытья имеет весьма сложную физико-химическую природу и не может быть описан какой-то простой схемой. Он включает сразу несколько взаимосвязанных явлений, и лишь удачная их совокупность обеспечивает достижение цели – получение «белоснежного», т.е. чистого, материала. При очистке поверхностей от жидких (масло, мазут, жир) и твердых (сажа, глина) загрязнений обязательно должно происходить смачивание обрабатываемой поверхности. ПАВ – главная



Так выглядят капли воды на чистой ладони и на ладони, испачканной нефтью.

составная часть каждого моющего раствора – адсорбируется на поверхности, подлежащей очистке, обеспечивая ее смачивание. Необходимо также «оторвать» частицы грязи от поверхности и перевести их в суспензию или эмульсию. Нельзя допустить повторного осаждения загрязнений. А если загрязнение состоит из жидкого вещества (жир), его нужно «коллоидно растворить» – солюбилизировать.

Все многообразие физико-химических процессов, происходящих при очистке поверхностей, нет возможности разобрать на страницах популярной книги. Но отдельные стороны этого процесса, например, стирки ткани, можно выразить образно пятью утверждениями.

Ничто ничего не отталкивает. В быту давно уже стали почти «узаконенными» термины «водоотталкивающие ткани», «водоотталкивающая пропитка». И мы постепенно привыкаем к мысли, что ткань может «отталкивать» воду, а если она этим свойством не обладает, то можно сделать ее таковою путем пропитки. Но ничто ничего не отталкивает. Просто капля воды располагается на разных тканях или на других твердых поверхностях по-разному. На рисунке приведен случай, когда вода сохраняет почти каплевидную форму, т.е. не смачивает поверхность. Такой несмачиваемой гидрофобной поверхностью обладает твердый парафин и поверхность бензина, растительного масла, мазута или другой жидкости, нерастворимой в воде. На смачиваемой поверхности капля воды

растекается, что и изображено на рисунке. По размеру угла можно судить о том, насколько «любит» данная поверхность воду. Краевой угол является мерой смачивания. Если угол составляет от 0 до 90°, то жидкость хорошо смачивает поверхность. Угол больше 90° – поверхность почти не смачивается. Она как бы «отталкивает» воду. Точнее, вода собирается капельками на поверхности. На чистейшем стекле вода расплывается тонким слоем. Но достаточно провести по нему кончиком пальца, и капля воды так и останется чуть сплюснутым шариком. С кожи пальца на стекло мы перенесли тончайший слой жира, который в отличие от стекла не смачивается водой. Можно было бы рассмотреть и термодинамические условия смачивания, но в этом случае пришлось бы написать учебник физической и коллоидной химии, разбавленный информацией о пенах.

Черное можно сделать белым. Моющий раствор и предназначен для того, чтобы сделать смачиваемой, «любящей» воду, загрязненную поверхность. Роль такого регулятора играют молекулы мыла (жирового или синтетического), о структуре которых мы говорили выше. Своим гидрофобным концом («хвостом») молекулы ориентируются в сторону жира. Тогда вся поверхность оказывается покрытой «головками», которые «любят» воду. Поверхность ткани, стекла, фарфора, если она чистая, не нуждается в усилении смачивания. Но если на ней есть масло, то нужно сделать поверхность масла смачиваемой, чтобы вода «не отталкивалась».

Промасленный комбинезон, который невозможно утопить в воде, если она не содержит мыла, становится мокрой тряпкой в растворе ПАВ; причина – адсорбция молекул ПАВ на поверхности масла. Следствием адсорбции явилась модификация (изменение свойств) поверхности. Она стала смачиваемой. С позиций физической химии поверхностных явлений утверждение об «утке, которая не тонет в воде», не имеет никаких реальных обоснований.

В чистой воде, действительно, утка не тонет, так как она заботливо и систематически смазывает перья собственным жиром, пропуская каждое перышко через клюв. Перья всех водоплавающих птиц водой не смачиваются. Но... смачиваются любыми маслами, например нефтью. И тогда разыгрываются трагедии, какие уже не раз случались в районах аварий танкеров, прорыва нефти из подводных скважин на прибрежном шельфе. Подобная ситуация наступит также, если гуся или утку бросить в мыльную воду: молекулы мыла адсорбируются на гидрофобных перьях, они станут гидрофильными, птица намокнет и не сможет долго плавать.

Черное можно сделать белым, если это черное удалить с белого. Условимся называть черным загрязненное белье. В таком случае восстановить белизну можно за счет отрыва черных загрязнений. «Черное»–это пятна масла или угольной сажи. Водой они не смачиваются, но станут гидрофильными, если к воде добавить ПАВ. Представим себе, что за счет сил адсорбции молекулами ПАВ удалось оторвать «черное» от «белого»; теперь необходимо эти жидкие или твердые частицы удержать в окружающем моющем растворе в виде дисперсной системы–суспензии (вода–твердые частицы) или эмульсии (вода–капли масла). Отметим, что в данном случае «маслом» будет любое жидкое вещество, нерастворимое в воде. Мыло отрывает сажу и не позволяет ей снова осесть на ткань. Происходит это потому, что молекулы ПАВ адсорбируются и на ткани. При этом гидрофильная часть молекул ориентирована к ткани и прочно на ней оседает. Вся поверхность ткани оказывается заполненной гидрофобными хвостами. Они «не любят» сажу. Имейте в виду, что тарелка после мытья мылом или каким-либо другим моющим веществом тоже гидрофобна! Вода по ней не растекается, а собирается капельками. Хотя на поверхности тарелки адсорбированы ничтожные количества

ПАВ, но и их желательно удалить, чтобы они своим запахом не портили вкуса пищи и не попадали в наш организм. Тут на помощь приходят испытанные средства–горячая вода, сода и щетка.

Еще алхимиками было сформулировано правило растворения веществ–«подобное в подобном». Неорганические соединения, имеющие полярную или ионную структуру, растворяются в полярном растворителе–воде. Воск, парафин или битум неполярны, они растворимы в бензине, бензоле, ацетоне–жидкостях неполярных. И все-таки растворить бензин или машинное масло в воде можно. Но только в воде, содержащей изрядное количество ПАВ типа мыл.

Обратный путь нужно закрыть. Если жир с помощью ПАВ оторван от загрязненной поверхности металла или ткани, если чешуйка графита, окруженная ориентированными молекулами ПАВ, «плавает» в воде, то нужно создать для них барьер на пути к старому «месту жительства». Нужно исключить повторное осаждение частичек грязи на бывшую грязную поверхность. Для этого в состав моющих средств вводят специальные защитные коллоиды, например карбоксиметилцеллюлозу, продукты переработки крахмала. В их присутствии моющие препараты «стирают» лучше, чем мыло.

Растворить нерастворимое. Бензол и керосин в воде практически нерастворимы. Нерастворимы вазелин и свиной жир. Нерастворимы почти все «масла». А вот натриевая соль жирной кислоты–мыло–в воде образует растворы. Но если в молекулах мыла одновалентный натрий будет замещен двух- или трехвалентным ионом металла, то такое мыло в воде уже нерастворимо. Серая пена на поверхности воды в ванне, серые хлопья на стенках раковины–все это кальциевые мыла, нерастворимые в воде. Они образовались из пены натриевого мыла и солей кальция и магния, содержащихся в воде (именно содержанием этих солей и определяется жесткость воды).

Основой напалма – страшного оружия современности – также является нерастворимое «металлическое мыло» (алюминиевая соль нафтеновой кислоты).

Нерастворимые в воде кальциевые, алюминиевые и другие «поливалентные» мыла растворимы в различных «маслах». Мицеллы обычного водорастворимого натриевого (или калиевого) мыла способны сами растворять эти «масла». Растворяемое вещество как бы входит внутрь мицелл. За счет этого размеры мицеллы увеличиваются. Солюбилизированные масляные загрязнения уже не могут снова осесть на очищенную поверхность и испачкать ее. Не осядут и твердые частицы. На них образуются оболочки из молекул ПАВ и воды, которые препятствуют сцеплению частиц между собой и осаждению. Стабилизация суспензий (вода – твердые частицы) достигается добавкой электролитов. В воде относительно устойчивы суспензии мела, глины, т. е. веществ, «любящих» воду. Разумеется, что частицы мела – мельчайшие, а не сантиметровые кусочки. А вот суспензия графита (сажи) неустойчива, и твердые частицы должны быстро оседать на очищенную поверхность. Но под действием ПАВ и несмачиваемый водой графит меняет свои свойства и превращается в «водолюба». Суспензия графита в воде становится устойчивой, и при стирке его частицы уносятся вместе с грязной водой.

В заключение необходимо предостеречь читателя от поспешного вывода. Строгой теории моющего действия пока нет. Поэтому и выпускается так много различных моющих составов и смесей. Их подбирают, главным образом, «на ощупь», или, как говорят, методом проб и ошибок.

С помощью простых и сложных пенящихся растворов удаляют смазку с деталей перед ремонтом, пыль со стекол и из шахтного забоя, с загрязненного технологического оборудования, дезинфицируют емкости для молока и удаляют остатки смазки из емкостей для таких

опасных веществ, как концентрированная азотная кислота или пероксид водорода, взрывающихся при контакте с маслами. Заметим, что после мыльной пены в этом случае нужно удалить и невидимый слой молекул мыла, адсорбированных на металле. Для этого поверхность «протирают» негорючими, но летучими растворителями.

«Мыльная эпоха» вносила различные усовершенствования в процесс стирки: колотушки, терки, щетки, вальки, стиральные доски. Появились сначала примитивные, а затем и весьма совершенные стиральные машины. Но на всем протяжении этой «мыльной эпохи» постоянным участником процесса стирки была мыльная пена.

Ежегодно отечественная промышленность выпускает около 900 тыс. тонн моющих порошков, жидкостей и паст. Почти 700 тыс. тонн этих средств потребляется населением для стирки, мытья и чистки.

В нашей стране практически используются три типа синтетических моющих средств: сульфонолы, алкилсульфаты и состав, получивший название «Прогресс». Содержание детергента в композициях составляет 20–40%. Сейчас главная задача технологии детергентов – сделать их «съедобными» для бактерий, очищающих водоемы. Это поможет спасти природу от загрязнения. Из освоенных детергентов лучше всего усваиваются бактериями алкилсульфаты.

Детергенты сами по себе не всегда дают такую же обильную и стойкую пену, как мыло; поэтому во многие стиральные составы добавляют несколько процентов алкиламидов – веществ, существенно повышающих пенообразующую способность детергентов и стабильность пены. Бывает и иначе. Некоторые синтетические моющие средства обладают слишком сильной пенообразующей способностью, но получаемая пена недостаточно прочна для выполнения «транспортных функций». И в этих случаях тоже подбирают добавки, регулирующие пенообразование и стойкость пены.

Без пены не бывает чистого белья. Пенный пузырек – прекрасное транспортное средство для удаления частиц грязи.

СУХАЯ ПЕННАЯ СТИРКА

Потолки и верхняя часть стен большинства современных общественных зданий – киноконцертных залов, театров, аэропортов, вокзалов, институтских и школьных помещений – отделываются звукопоглощающими материалами. Эти материалы имеют большую открытую рельефную поверхность; на ней прочно удерживается пыль, которая не только портит внешний вид отделки, но и резко снижает ее звукопоглощающую способность. Удаление пыли – дело сложное: моющие растворы тут не годятся, так как отделка намокнет и может обрушиться. Так же непросто удалять пыль с мягкой мебели в общественных местах, со стен, обитых тканью, и полов с ковровыми покрытиями. Чистка с помощью пылесосов и моющих растворов в этих условиях очень трудоемка, малопроизводительна, а зачастую и неэффективна. К этому надо добавить, что многие ткани, отделочные материалы в зданиях и помещениях специального назначения нельзя чистить водными растворами моющих средств: от этого портятся лакированные деревянные детали, на очищаемых поверхностях остается тонкий сероватый налет, растворяются нестойкие красители и непрочная основа отделки и т. д. Во всех этих случаях целесообразно очищать поверхность пенным способом. Суть его состоит в том, что на очищаемую поверхность наносят пену, растирают ее равномерным слоем щетками, а затем удаляют пылесосами – *сухая чистка*. С машин, вагонов, оборудования грязную пену можно смывать водой, но это уже мокрая чистка.

Сухая чистка имеет неоспоримые достоинства: исключается смачивание очищаемых материалов водой; удаление частиц пыли и грязи не влечет за собой механического повреждения обрабатываемой поверхности; обеспечивается более длительный контакт пены с потолком, стенами и другими вертикальными и наклонными поверхностями; снижается расход моющих средств и упрощается очистка сточных вод. Важно и то, что при пенной чистке исключается выделение в атмосферу помещения вредных и дурно пахнущих веществ, а также образование капель растворов, раздражающих слизистую оболочку. Работа с пенами безвредна и не сложна.

Для пенной очистки различных поверхностей разработаны специальные пенящиеся композиции, в состав которых входят поверхностно-активные вещества, образующие высокократные и стойкие пены, кислотные или щелочные очистители, отдушки и другие компоненты. Очищающие пенящиеся составы для промышленных объектов выпускаются и хранятся под давлением в металлических резервуарах, зачастую большой емкости. Из этих емкостей сжатым воздухом они выбрасываются по трубопроводам через сопло на обрабатываемую поверхность в виде пены. Для чистки в домашних условиях, например, для пенной очистки тканевых обоев, покрытий полов, посуды, окон и т. д. промышленность выпускает пенящиеся составы в аэрозольной упаковке. Из баллона на очищаемую поверхность выбрасывается вязкая и стойкая мелкодисперсная пена. Пенообразующие составы могут быть в виде моющих таблеток и паст, которые при растворении в воде интенсивно выделяют газ с образованием пены.

Обивочные ткани, мягкую мебель, ковровые покрытия, занавеси, шторы в общественных зданиях «стирают» двумя способами: сухим и влажным. При сухом шампунировании обходятся без механического растирания пены по очищаемой поверхности, при влажном шампунирова-

нии пену растирают щетками. При сухой чистке пена хорошо «всасывает» пыль, частицы грязи и жидкие загрязнения из тканей, очищаемая поверхность при этом не намокает. Так, даже после 140-кратной обработки ворсистых тканей входящие в состав шампуня вещества обнаруживаются в ткани в очень незначительных количествах. Сухая чистка очень экономична; расход шампуня (2%-ного водного раствора) для ковров составляет всего 100–150 г/м².

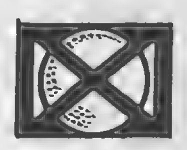
Пенный способ широко используют в пищевой промышленности для очистки и дезинфекции производственных помещений, технологического оборудования, специального транспорта. В пенящиеся составы вводят бактерицидные добавки, уничтожающие даже устойчивые формы микроорганизмов. Этим же способом очищают автомобили, железнодорожные вагоны, цистерны. Стационарными или переносными установками на очищаемые поверхности наносится пена, затем она тщательно растирается вращающимися щетками. После обработки пену удаляют струей воздуха. Этот способ особенно эффективен в условиях, где строительство мощных канализационных систем и очистных сооружений затруднено.

Пены очень облегчают очистку аппаратов и магистралей на установках для машинного доения коров. Но в этом случае не следует применять пену с высокой стойкостью. Сначала обильная пена выполнит роль очистителя и захватит все загрязнения на стенках, а затем из очищаемых аппаратов должна пойти чистая, не содержащая пену промывная жидкость. Так поступают и при промывке атомных реакторов: содержание радиоактивных веществ оказывается максимальным в пене; после ее разрушения останется малый объем загрязненной жидкости. Общее правило осуществления процессов в пенных потоках так и формулируется: *пена должна быть нестойкой.* Прекратили подачу газа – исчезла пена.

Пенным способом можно не только «стирать», удаляя загрязнения, но и очищать оборудование от ржавчины и окалины, а трубы, котлы и теплообменные аппараты – от накипи и других солевых отложений. Для очистки от ржавчины используют составы, которые при нагревании образуют пены.

Ржавые детали обрабатывают горячей пеной, после чего их поверхность становится совершенно чистой. Для удаления накипи в пенящиеся составы добавляют специальные растворители. Пену, содержащую растворитель, насосом закачивают в трубы или в очищаемые аппараты, а на выходе подвергают разрушению. Образующаяся жидкость отфильтровывается от частиц накипи, вспенивается и вновь подается в трубы. Многократная циркуляция пены позволяет очищать от прочной накипи и окалины большие аппараты и длинные трубы очень малым количеством пенящегося вещества.

КОГДА ПЕНА – ЗЛО



До сих пор мы рассказывали о пене-помощнице, пене-союзнице. Но пена может быть злым и коварным врагом. Пена может служить причиной аварии, ухудшать качество самой разнообразной продукции, снижать производительность промышленного оборудования, заражать окружающую среду. Список бед и тяжелых последствий, причиняемых легкой пеной, бесконечно длинен.

Мы расскажем здесь о том, какой вред наносит пена производству антибиотиков и других лекарственных препаратов, сахара, кормовых и пекарских дрожжей, желатина, клея. В производстве этих пищевых, лекарственных

и промышленных продуктов используются растворы, содержащие белки, аминокислоты, углеводы, жирные кислоты. Все они обладают поверхностной активностью, поэтому способны давать высокократные и устойчивые пены. Наличие в исходных смесях различных растворимых и нерастворимых органических веществ значительно повышает стабильность пен. Образование пены неизбежно еще и потому, что растворы эти неоднократно подвергаются интенсивному перемешиванию, нагреванию, переливанию, в результате чего происходит сильное вспенивание.

Пена мешает врачам, портит кинопленку и ткани, взрывает котлы...

МНОГО ПЕНЫ – МАЛО САХАРА

Переработка свеклы в сахар – это сезонное производство, и поэтому на сахарных заводах стараются сократить технологический цикл за счет интенсификации работы оборудования. Однако этому мешает пена. Обильная пена сопровождает почти все технологические этапы сахароварения. Именно пена причина того, что нарушается ритмичность производства, замедляются основные химические и физико-химические процессы, снижается производительность оборудования. Пена замедляет процессы диффузии при очистке и осветлении соков, их выпаривание, тормозит уваривание продукта и кристаллизацию сахара в мешалках. В соках сахарной свеклы содержатся поверхностно-активные вещества и стабилизаторы пены; они и являются причиной обильного пенообразования. Основной пенообразователь в сахарном производстве – свекловичный сапонин – высокоактивный ПАВ. Стабилизаторами пены служат продукты разложения белковых веществ. Поэтому свекловичные пены чрезвычайно устойчивы.

Пена, образуется в результате всасывания воздуха при многочисленных перекачиваниях соков, перемешивании, при обработке их диоксидами углерода и серы, а также за счет возникновения в соках пузырьков пара при выпаривании и уваривании. Особенно сильным пенообразование бывает при переработке недозрелой, долго хранившейся или подмерзшей свеклы.

Борьба с пеной – одна из главных забот на сахарных заводах.

БОЛЬШЕ ПЕНЫ – МЕНЬШЕ БУМАГИ

Такой короткой фразой можно оценить отрицательную роль пены в производстве целлюлозы. А именно из целлюлозы и делают бумагу.

Срубленное дерево полностью оголяют: обрезают сучки, освобождают от коры, разрезают на куски-балансы. Специальная машина превращает бревно в щепу. Начинается длительный процесс варки. Конечный продукт – щелок, в котором плавают волокна целлюлозы. Целлюлозу отделяют от щелока на вакуум-фильтрах. Вот тут и обнаруживается злая роль пены.

Присутствие в щелоке веществ типа мыл способствует образованию огромных количеств пены на выходе из вакуум-фильтра. Эта пена отличается очень высокой стойкостью, так как она упрочнена волокнами целлюлозы.

Пены так много, что в проектах заводов предусмотрены пеносборники – громадные металлические резервуары диаметром более 10 м и высотой до 25 м. Вся эта емкость оказывается заполненной пеной. Если не сделать предохранительных клапанов, то пена может даже сорвать крышку сборника. А если их делают, то... через клапаны валит пенная масса и заливает территорию...

Пена, образующаяся в вакуум-фильтрах, снижает их производительность, ибо пена создает противодавление.

Кроме того, пенообразование вызывает потерю щелока, содержащего такие ценные вещества, как канифольное мыло, талловое масло. Последнее является важнейшей составной частью смесей, используемых при флотации.

Недавно разработан и успешно испытан на Ново-Лялинском целлюлозно-бумажном комбинате химический метод пеногашения непосредственно в пеносборниках. Возможно не только химическое гашение пены, но и введение химических антивспенивателей в массу на одной из стадий производства.

Сейчас уже накоплен изрядный опыт химического пеногашения при варке целлюлозы. Появились новые пеногасители и вещества-антивспениватели. Изобретатели предложили новые приемы пеногашения, например гашение пены пеной. О том, как пена разрушает пену, мы расскажем несколько позже.

ПЕНА – ВРАГ АВТОМАТИКИ

Уровень жидкости в реакторах, резервуарах, емкостях измеряют с помощью различных уровнемеров. Наиболее распространены уровнемеры контактного действия. Когда жидкость достигает определенного уровня, она замыкает датчик. Через усилитель сигнал от датчика поступает на щит контрольных приборов к оператору и на исполнение в дозирующие устройства или задвижку. Оператор получает сигнал о заполнении резервуара растворами, а дозирующие устройства или задвижки перекрывают дальнейшее поступление раствора в емкость. Но если жидкость склонна к пенообразованию, то датчик, контролирующий уровень жидкости, включится уже при контакте с пеной, которая покоится на жидкости. Например, при выращивании антибиотиков питательную среду – бульон продувают воздухом для интенсификации процесса. Образуется огромный слой пены. При таком обильном пенообразовании датчик уровня включается значительно раньше, чем бульон заполнит реакторы. Автоматика и сигнализация становятся бесполезными, а иногда и вредными, так как дают неверную информацию и ложные сигналы, неправильно включают дозирующие и регулирующие устройства.

Для устранения ложных сигналов приходится усложнять датчики уровня, ставить дублирующие датчики, вести визуальный контроль. Но самый действенный способ получить точную информацию – гашение пены или предотвращение ее образования.

НАСОСЫ ПЕРЕКАЧИВАЮТ ВОЗДУХ

Мы уже говорили о том, как велика роль пены при бурении скважин для разведки и добычи нефти и газа и особенно – на больших глубинах. При глубоком бурении (свыше 3 тыс. метров) сложно стабилизировать свойства промывочных жидкостей и буровых растворов. В глубоких скважинах свойства растворов существенно изменяются. В основном это связано с тем, что в растворах происходит сильное пенообразование, управлять которым бурильщики еще не научились. Содержание газа в промывочной жидкости может достигать 25–30%.

Излишнее пенообразование сильно затрудняет работу буровиков. Из-за обильного пенообразования увеличивается вязкость и уменьшается плотность буровых растворов, в результате резко снижается производительность бурового оборудования. То же самое происходит при добыче некоторых видов нефти, содержащих природные ПАВ. Нефть при откачивании вспенивается, и насосы забирают из скважин вместо нефти значительную часть воздуха. Возможны и аварийные ситуации: газы из пласта интенсивно вспенивают буровые растворы и происходят их опасные выбросы.

Вспенивание буровых растворов могут вызвать не только ПАВ, специально вводимые в рабочие растворы, но и пенообразователи, поступающие в него естественным путем – с пластовыми водами, глинистыми породами, содержащими соли органических кислот, гуминовые, азотистые вещества и др. Дополнительное вспенивание может происходить и при растворении минеральных солей, попадающих в раствор при разбуривании соленосных отложений.

Чаще всего вспенивание обусловлено не одной, а несколькими причинами сразу.

Во всех случаях, кроме специального применения пен для очистки скважин пенным способом (о чем мы уже рассказывали), вспенивание бурового раствора является крайне вредным, особенно при турбинном бурении.

ПЕНА ВЗРЫВАЕТ КОТЛЫ

Обильное вспенивание в промышленном оборудовании не только снижает его производительность и способствует износу, но и бывает часто причиной аварий. Например, при так называемых «водяных ударах», сопровождающих вспенивание котловой воды или ее выброс, лопаются части паровой машины паровоза, для разрыва которых потребовалось бы усилие в 150 тонн.

В 30-х годах для борьбы с накипью в котлах паровозов и тепловых электростанций в воду стали добавлять фосфатные смеси. От накипи избавились, но вода в котлах стала вспениваться, выбросы котловой воды приводили к серьезным авариям на железной дороге и на электростанциях: поломке золотников, выбиванию крышек цилиндров и т. д.

Особенно опасно пенообразование в котловой воде на электростанциях, оборудованных громадными котлоагрегатами, вырабатывающими пар высокого давления. В котлах накапливается мелкодисперсный осадок, образующийся при кипении воды. Но в воде всегда есть соли и, следовательно, ионы электролитов. Такое сочетание как раз благоприятствует вспениванию. Аварии обычно бывают при сильных выбросах. При ограниченном вспенивании взрывов не происходит, но пар захватывает капли воды, при испарении которой трубы, турбины и отдельные узлы машин покрываются слоем соли, что вызывает интенсивную коррозию оборудования, работающего под давлением; о вреде этого явления говорить не приходится.

ВРЕДНЫЕ УПРОЧНИТЕЛИ

Интенсивное пенообразование имеет место при производстве асбестоцементного шифера (шиферных листов для крыш и стен). Хотя исходные материалы (цемент, асбест) не содержат пенообразователей, пузырьки воздуха, образующиеся в процессе перемешивания щелочного раствора, упрочняются тонкими волокнами асбеста. Эти твердые тонкодисперсные частицы могут надежно «бронировать» пузырьки, повышая их устойчивость даже в отсутствие эффективных поверхностно-активных веществ. Шиферное производство – яркий наглядный пример того, как можно повысить стабильность пен методом бронирования, о котором мы уже рассказывали. Воздушные пузырьки в готовых изделиях – это явный брак: листы с включениями воздушных пузырьков пропускают воду. Крышу из такого шифера не сделаешь. Еще более опасно, если пузырьки есть в стенках асбестоцементных труб, уложенных в землю. Из таких канализационных труб сточные воды могут просачиваться в землю, загрязняя ее; грунтовые воды могут попасть в трубы с телефонным кабелем и вывести из строя телефонную сеть.

В шиферном производстве практикуют механическое удаление пены пеноснимателями. А нельзя ли сделать это с помощью химических пеногасителей? Очевидно, можно, но требуется специальная проверка в лабораториях и на заводах, ибо химические пеногасители могут «отравлять» цемент: замедлять его твердение и снижать прочность.

ВРАГ ВОДОЛАЗОВ И ВРАЧЕЙ

Приведем несколько наиболее характерных примеров того, как пена может вредить здоровью человека.

Водолазов, работавших на большой глубине, поднимают наверх очень медленно. Если это правило нарушить, может наступить тяжелейшее заболевание – кессонная болезнь. Причина этой болезни – воздушные пузырьки, а точнее,– пузырьки азота. При повышенном давлении (на глубине) азот из воздуха, которым дышит водолаз, легко растворяется в крови; при быстром подъеме азот начинает выделяться из крови в виде пузырьков. Кровь вспенивается. Эта пена закупоривает мелкие кровеносные сосуды и вызывает тяжкое заболевание. В литературе есть сведения о том, что замена азота в газовой смеси (воздухе) гелием уменьшает опасность такого заболевания, так как гелий очень мало растворим в крови. С такой газовой смесью человек может достаточно быстро опускаться и подниматься в легком скафандре на глубину до 300 м.

Помехой в работе считают пену зубные врачи. Достаточно прочитать или услышать слово «бормашина», как у большинства читателей мгновенно появится гримаса.

Бормашина – это всегда неприятные ощущения. Специальные исследования показали, что при посещении кабинета зубного врача в крови будущих пациентов, особенно мужчин, резко повышается содержание адреналина. Практически безболезненно сверление ультразвуком. На поверхность зуба, подлежащего вскрытию, наносится слой абразивного (шлифующего) порошка, к нему подводится тонкий стержень, соединенный с источником ультразвуковых колебаний. Под торцевой частью стержня происходит интенсивное движение шлифующего порошка; несколько секунд – и нужный канал просверлен. Но в полость рта непрерывно поступает слюна, более 1,5 л в сутки. В момент лечения зубов, когда челюсти раскрыты, как при жевании пищи, слюноотделение особенно обильно. Напомним, что слюна легко вспенивается, и особенно под действием ультразвука. Обильная пена закрывает операционное поле.

Именно пенообразование мешает внедрению ультразвуковой бормашины в повседневную практику. Нужны химические методы пеногашения или антивспениватели. Возможно, в этом случае удобнее вводить именно антивспениватели. Самый безобидный из них, на наш взгляд,– подсолнечное масло: отсутствие вредных последствий гарантировано.

Грозным осложнением инфаркта миокарда и многих других болезней, при которых человек вынужден долгое время лежать неподвижно, является отек легких. Это явление связано со вспениванием вдыхаемым воздухом белкового транссудата, скапливающегося в альвеолах легких. Этот транссудат (от латинского *trans* – *через* и *sudo* – *потею*) – продукт постоянного обмена между жидкостью тканей и жидкой частью крови. Выход жидкости через стенки кровеносных сосудов в окружающую ткань (например, в легкие) происходит непрерывно. Если в ткань из сосудов выделяется большое количество жидкости, а всасывание ее обратно в кровь замедлено, наступает отек.

Образование и накопление в легких большого количества стойкой пены затрудняет дыхание, ухудшает снабжение организма кислородом, осложняет лечение основной

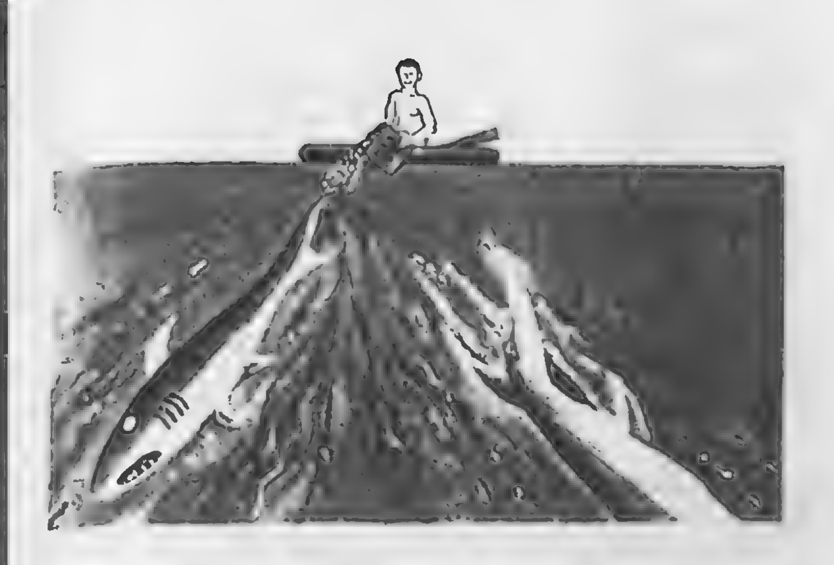
болезни; раньше в большинстве случаев отек легких пр... водил к печальному исходу. Сейчас с отеком легких н... учились бороться, но до сих пор это грозный и коварный противник, уносящий немало человеческих жизней.

Белковая основа пены в легких предопределяет ... очень высокую стабильность. Разрушить и удалить ... кую пену, учитывая ее устойчивость и местонахождени... и сложно, и небезопасно для больного. Механическ... способы пеногашения в этом случае не годятся, а хими... ское гашение требует особой осторожности, посколь... человеческий организм восприимчив ко многим препар... там, подавляющим пенообразование.

Наиболее просто и безопасно для здоровья челове... предотвращать пенообразование в легких с помощь... специальных пеногасителей – сильно разбавленных ра... творов поверхностно-активных веществ, разрушающи... пузырьки пены непосредственно в легких. Особое мес... в ряду этих пеногасителей благодаря своим фармаколо... гическим свойствам и терапевтическому действию зан... мает отечественный пеногаситель антифомсилан. О... обладает высокими пеногасящими свойствами в водных средах. При введении его в концентрации 0,02% к объему среды поверхностное натяжение снижается почти втрое и происходит быстрое разрушение пены, даже при наличии белковых стабилизаторов.

При сложных операциях на сердце аппарат искусственного кровообращения (АИК) должен временно заменить остановленное сердце. В это время легкие не работают, поэтому насыщение крови кислородом осуществляется в аппарате путем продувания пузырьков газа через кровь. Но если в крови останется хотя бы один пузырек кислорода и он попадет в кровеносную систему, может наступить трагедия... И тут приходят на помощь антивспениватели.

Возникновение пены в органах газообмена опасно не только для человека, но и для рыб. Накапливаясь на раз-



ветвленной поверхности жабр, поверхностно-активные вещества вызывают пенообразование. Пена блокирует газообменные процессы, и усвоение кислорода из воды резко замедляется. Присутствие в воде медленно разлагающихся синтетических ПАВ смертельно для рыб. Рыба активно реагирует на наличие в воде моющих средств. Поэтому неудивительно, что в тех реках и озерах, куда сбрасывается недостаточно тщательно очищенная вода, рыбы стало заметно меньше.

Интересно отметить, что на повышенной чувствительности рыб к присутствию ПАВ в воде основана защита некоторых видов камбалы от акул. Так, камбала, обитающая в Красном море, выделяет в случае опасности через кожные покровы вещества, относящиеся к классу поверхностно-активных. Акул это вещество отпугивает. В США начаты серьезные исследования по изучению отпугивающего действия ПАВ. Быть может, в скором времени купальщики в тропических водах будут «вооружаться» перед заплывом коробочкой с ПАВ.

«БОЛЬШАЯ СТИРКА» В ГОРОДЕ

Фабрика-прачечная средней производительности сбрасывает в сутки около 2 тыс. кубических метров сточной воды, загрязненной ПАВ. А в большом городе таких прачечных десятки. Если поверхностно-активные вещества попадают в воду, то очистить ее на обычных водопроводных станциях невозможно. Питьевая вода будет пахнуть нефтяными продуктами и мылом. Таков «вкус» синтетических ПАВ, входящих в состав стиральных порошков. Приятный запах порошкам придают специальные добавки – отдушки. Их в порошке всего 0,1–0,2%, но этого достаточно, чтобы выстиранные вещи приобрели запах свежести. Но сами ПАВ свежестью не пахнут.

Способность ПАВ давать пену положена в основу оригинального метода очистки стоков ... от ПАВ – метода пенной флотации. По этой схеме сточные воды прачечных сначала освобождают от ниток, пуговиц, монет, забытых в карманах одежды. Затем воду фильтруют и отправляют на флотатор, где содержание ПАВ снижается до 20–30 мг/л, так как основная их доля переходит в пену. Лишь после этого вода поступает на биологическую очистку. Когда содержание ПАВ снизится еще в несколько раз, можно сбрасывать сточную воду в водоемы. Полученную в флотаторах пену с большим содержанием ПАВ гасят струей «острого пара». В таком концентрате ПАВ всего несколько миллиграммов на литр. Этот концентрат фильтруют, хлорируют и затем повторно используют для первичного замачивания белья. Получается «большая стирка» без отходов – вариант безотходной технологии в бытовом обслуживании.

Если сточные воды не очищают от поверхностно-активных веществ, то возникает множество больших или малых, но всегда закономерных неприятностей. Расскажем о нескольких курьезных случаях.

К предстоящему приезду высокой комиссии нерадивые руководители дрожжевого завода устроили аврал по уборке территории. Подмели в цехах и во дворе, а остатки пыли смыли струей воды. Эта вода и собранная пыль попали в канализацию. Через канализационные люки в километре от завода хлынула дурно пахнущая пена: пыль, собранная во дворе и на полах цехов, состояла, главным образом, из дрожжей. Началось брожение ... Известны случаи, когда по канализационным трубам пена поднималась до седьмого этажа.

Участникам Международного нефтяного Конгресса предстояло совершить прогулку на теплоходе по большой европейской реке. Собравшиеся на теплоходе не могли понять, почему задерживают отплытие, и обратились за разъяснениями к капитану. Последний лаконично ответил: «Пена». Был субботний вечер, из канализационных труб текла лавина пены, которая закрывала навигационные знаки. Пароходу пришлось бы двигаться вслепую. А это всегда опасно.

ПЕНА И КИНО

Когда снимался американский кинофильм «Клеопатра», оказалось, что кинопленка содержала в светочувствительном слое пузырьки воздуха, и ряд массовых сцен пришлось снимать заново. Дополнительные расходы составили несколько миллионов долларов.

Нечто похожее произошло и при выполнении космической программы американскими космонавтами. Съемки из космоса были проведены на подобную вспененную пленку. Напомним читателю, что поверхность фото- и кинопленки покрыта фотоэмульсией, состоящей из желатины и светочувствительных материалов. Растворы, из которых создается этот слой, и удерживают пузырьки воздуха. Желатина, как уже об этом говорилось, способ-

ствует удержанию воздушных пузырьков. К сожалению, проверить качество пленки можно лишь после проявления. Поэтому так важно ликвидировать пенообразование в светочувствительных эмульсиях в ходе производства фото- и киноматериалов.

ПЕНА И КРАШЕНИЕ

Невооруженным глазом видно, что при погружении ткани в воду на поверхности ткани, особенно в зазорах-впадинах между нитями, остаются пузырьки воздуха. Когда ткань погружают в раствор для крашения, пузырьки воздуха препятствуют смачиванию волокон и их контакту с молекулами красителя. Следовательно, расход красителей увеличивается, а интенсивность окрашивания уменьшается. Но даже при большом расходе красителей окрашивание не будет полным, останутся непрокрашенные пятна, пряжа или ткань получатся «рябой». Такая продукция переводится в низшие сорта или бракуется.

Прилипанию пузырьков воздуха способствует шероховатость нитей из натуральных волокон (хлопок, шерсть, шелк), а также остатки замасливателя, которым покрывают нити перед прядением. Многие, очевидно, замечали, что новое сукно, тканое одеяло или шерстяная пряжа имеют слабый запах керосина. Это запах замасливателя. Исчезает он не сразу, выветривание длится долго. Замасливатели обладают поверхностно-активными свойствами, они снижают поверхностное натяжение водных растворов, что и способствует образованию на волокнах при замачивании воздушных пузырьков и их длительному удержанию. Поэтому при крашении нитей или тканей принимают специальные меры, чтобы предотвратить образование пены в растворе красителя. Для этого материал обрабатывают смачивателями, замасливатели с поверхности тканей удаляются, и пузырьки воздуха к ткани уже не прилипают.

ПЕНА МЕШАЕТ ПРОИЗВОДСТВУ НЕФТЯНОГО КОКСА

Казалось бы, производство кокса и образование пены – процессы трудносовместимые. Однако технологи-коксовики считают пену своим основным врагом.

На установках замедленного коксования вырабатывается основное количество малозольного нефтяного кокса, который используется в производстве алюминия и для выплавки высококачественной стали. Однако процесс замедленного коксования нефтяных остатков в таких установках сопровождается значительным пенообразованием; в результате увеличивается выход летучих веществ, снижается механическая прочность кокса. Кроме того, вспенивание коксующегося сырья приводит к необходимости преждевременно прекращать подачу сырья, в связи с чем 35–40% объема камер коксования не используется и производительность коксовых батарей резко снижается.

Образование пены в процессе коксования нефтяных остатков обусловлено тем, что в результате крекинга жидкая фаза, находящаяся под слоем кокса, обогащается асфальтенами. Поверхностный слой коксуемого остатка становится пластичным и газонепроницаемым. Пары и газы в жидком слое образуют пузырьки, которые накапливаются под непроницаемым слоем коксуемого остатка и образуют пену.

Устойчивость этой пены многие годы снижали, повышая температуру в камере коксования. Однако нагревать сырье можно лишь до известного предела, иначе заметно снижается качество кокса. Сейчас для предотвращения пенообразования в реакционное пространство коксовых камер вводят пеногасители. Хорошо себя зарекомендова-

ли кремнийорганические соединения – полиметилсилоксановые жидкости. Их разбрызгивают над пенным слоем коксующегося остатка.

Таким образом, для многих производств пена является причиной ухудшения качества продукции, и часто это ухудшение столь существенно, что продукция бракуется.

ДРУЗЬЯ НА ВРЕМЯ

Загрязненные промышленные стоки подлежат очистке до сброса в реки или озера. Это очевидно. Но реализация этого закона встречает множество различных препятствий. И одно из самых серьезных состоит в том, что для удаления малых количеств загрязняющих веществ требуются более тонкие и дорогостоящие средства, чем для грубой очистки. Плавающую на воде нефть можно удалить с помощью ловушек, отстойников, пористых поглотителей. Мельчайшие капельки эмульсии жира и растворенные компоненты нефти этими способами не уловишь. Для окончательной очистки таких стоков прибегают к помощи микробов; это уже *биологическая очистка*.

В общих чертах сущность биологической очистки состоит в том, что в загрязненной воде создают условия для быстрого размножения определенных групп микроорганизмов. Иногда воду подогревают и обязательно продувают в нее воздух. Кислород в воде нужен для жизнедеятельности микроорганизмов. Раздробленные пузырьки воздуха за счет ПАВ, содержащихся в стоке, образуют обильную пену, которая огромной шубой накрывает все очистные сооружения. Толщина такого слоя пены может достигать нескольких метров. Нетрудно представить, как непросто обслуживать такое оборудование. Пену разрушают струями воды, механическими устройствами или химическими веществами.

Пена улучшает процесс очистки, но создает трудности для работающих. Да и самим микробам слой пены мешает – мало света!

ГРАБИТЕЛИ, СВЕДУЩИЕ В АКУСТИКЕ

Твердую пену в виде отделочных плиток или специальной штукатурки уже давно применяют в строительстве для повышения акустического комфорта помещений – для уменьшения шума в общественных зданиях. Нашлись поклонники такого способа усмирения шума и среди американских гангстеров. В современных банках помещения, в которых расположены сейфы, оснащены тщательно замаскированной системой высокочувствительных микрофонов. С их помощью шум, производимый взломщиками при вскрытии сейфов, передается в виде сигнала тревоги в ближайший полицейский участок. После введения такой сигнализации несколько лет было все спокойно, но затем гангстеры усовершенствовали технику грабежа: микрофоны и место вскрытия сейфа покрываются толстым слоем пены, и шум от «работы» резко снижается.

МОДЕРНИЗИРОВАННЫЙ ЖАНДАРМ

В истории науки имя известного американского физика Аристида Гроссе, одного из участников создания первой американской атомной бомбы («Проект Манхэттен»), связано также с разработкой метода определения возраста доисторических находок («углеродные часы»).

Очевидно, жажда популярности привела физика на американский общенациональный конгресс полицейских в Майами, где он выступил уже как автор «тактики мыльных пузырей» для полицейских. Им демонстрирова-

лись портативные карманные и ранцевые аппараты в виде рюкзака, укрепляемого на спине. «Добрый дядюшка-садовник с опрыскивателем» – можно было бы подумать, встретив его на улице...

Задача «дядюшки» – разгон забастовщиков. Одна из конструкций, разработанных Гроссе, напоминает гигантский пульверизатор-пеногенератор, перевозимый на автомашине. Этот агрегат способен за несколько минут забаррикадировать улицу шириной в 30 метров пенным слоем полутораметровой толщины. Преодолеть такую баррикаду демонстрантам не просто. Мыльные пузыри размером с яблоко окрашены, начинены слезоточивым газом или иной дрянью. Кроме того, в пену вводят красители или вещества, способные светиться (люминесцировать) при освещении определенными (ультрафиолетовыми) лампами, слезоточивые, дурно пахнущие или удушающие вещества. Настигнутые валом такой пены демонстранты задыхаются, теряют ориентировку. Их одежда оказывается испорченной и служит для судебных органов доказательством непосредственного участия в демонстрации.

В последнее время испытан еще один метод. В раствор для приготовления пены вводят быстротвердеющие на воздухе полимерные добавки. В этом случае из пеногенератора вылетают мгновенно затвердевающие на воздухе пластмассовые шарики, засыпающие демонстрантов с головой. Такие шарики очень прочны, их размеры могут быть от 1–2 см до полуметра. Они чуть легче воздуха и витают над тротуаром на почти метровой высоте. Цель такой полицейской акции – разобщить людей, лишить их пространственной ориентации, скрыть от окружающих факты избиения и насилия.

МНОГОЛИКАЯ ПЕНА

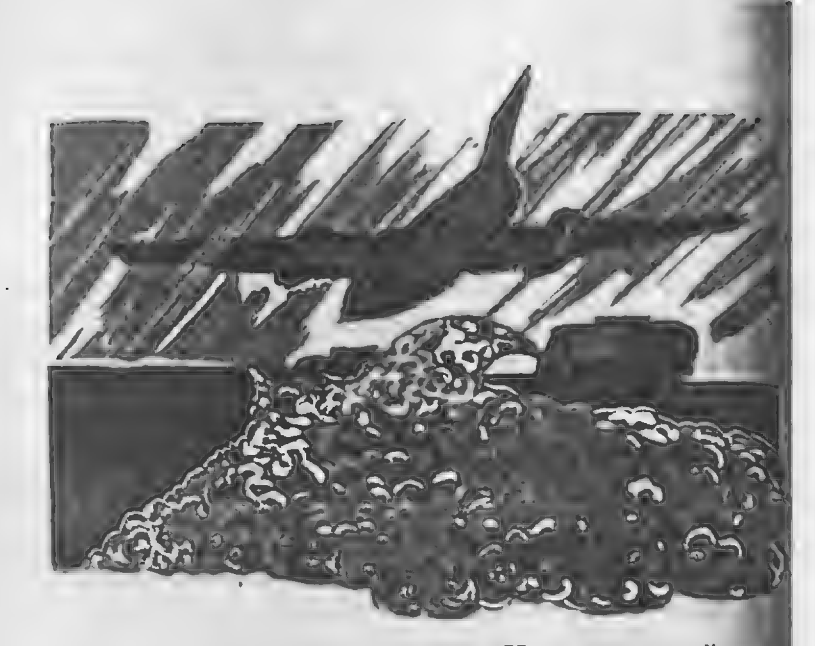


Области применения пены столь разнообразны и порой неожиданны, что не всегда удается определить категорию, к которой ее следовало бы отнести: добро или зло, вред или польза. Но сами по себе эти «неожиданности» заслуживают упоминания.

О МЫЛЕ, КОТОРОЕ ПЛАВАЕТ, И КУПАЛЬНИКАХ, КОТОРЫЕ НЕ ДАЮТ УТОНУТЬ

Кому из нас не случалось ловить в воде мыло, ускользнувшее из рук? Если это происходит в ванне – успех гарантирован. А если в глубокой речке? Кому не приходилось провожать взглядом кусок мыла, быстро погружающийся в глубину? Если пластичную массу для изготовления мыла перед формованием продувать газом, а затем прессовать, то затвердевшее мыло будет содержать некоторое количество газовых пузырьков, которые сделают кусок мыла «непотопляемым». Такое мыло изготавливают в Италии, оно пользуется большим спросом у туристов, любителей загородных прогулок, у детей.

Для детей предназначены специальные купальные костюмы, их производство начато в Японии. Такими купальниками заинтересовались и взрослые, не умеющие плавать. Новые купальные костюмы держат пловца на воде, не позволяя ему полностью погружаться в воду. Для этого купальники пропитывают эластичной поливинилхлоридной пеной, не впитывающей воду. Человеческое тело обладает плавучестью, близкой к нулевой. Это значит, что человек, полностью погруженный в воду, не будет ни всплывать, ни тонуть. Поэтому аквалангисты для свободного погружения на большую глубину на-



девают тяжелые свинцовые пояса. Но начинающий пловец боится воды и стремится держать над водой возможно большую часть своего тела, а уж голову – обязательно. В этом случае его плавучесть становится отрицательной. Для ее уравновешивания нужно или набрать много воздуха внутрь (глубокий вздох), или иметь его снаружи (пена в виде спасательного круга, купальника). Для неопытных пловцов второе надежнее. Поэтому «вспененные» купальники пользуются большим спросом.

ДЛЯ МЯГКОЙ ПОСАДКИ

Неисправное шасси создает аварийную ситуацию, при которой посадка самолета возможна только «на брюхо». При приземлении на бетонную полосу из-за сильного трения корпуса о шероховатую бетонную поверхность может произойти авария: загорание самолета, опрокидывание, поломка корпуса. Поэтому самолет с поврежденным шасси стараются посадить на водную поверхность или ровное пахотное поле – подобный случай произошел несколько лет тому назад, когда самолет «Аэрофлота» благополучно приземлился, точнее, «приводнился» на Неву.

На аэродроме в Тулузе (Франция) проводились испытания «ковра» из пены повышенной устойчивости. Такой «ковер» длиной 1500 м шириной 10 м при толщине в несколько сантиметров создавался на посадочной полосе из водного пенообразующего раствора специальной машиной всего за 10 мин. Испытания пенного «ковра» показали высокую надежность такой аварийной посадки авиалайнеров.

СВАРКА ПОД ПЕНОЙ

Изношенные детали можно восстанавливать, наплавляя на поврежденные участки слой металла, например, электродуговой сваркой. При таком восстановлении часть металла выгорает, отчего качество ремонта резко ухудшается. Наплавляемый металл защищают, нанося слой легкоплавкого флюса, или создают вокруг места наплавки защитную атмосферу из инертного газа. И все-таки расход металла большой, поверхность наплавленного металла шероховатая.

Сейчас предложено осуществлять сварку под слоем пены. Пену получают путем вспенивания газом (аргон, азот) водного раствора мыла и глицерина. Для легированных сталей лучше применять аргон. Пенная защита сократила расход дорогостоящего аргона в 6–8 раз. При пенной защите места сварки электрическая дуга становится более устойчивой, уменьшается пористость наплавленного металла.

ПЕННАЯ ОБОЛОЧКА ДЛЯ КАБЕЛЯ

Неожиданную область применения воздуху нашли в финском концерне «Hokua». Здесь начали производить телефонные кабели с поризованной полиэтиленовой оболочкой. Раньше всегда стремились сделать оболочку кабелей возможно более плотной. Воздушные поры в «чулке» для кабеля не допускались. Специальные исследования показали, что если поры в полиэтиленовой пене будут очень мелкими (до 0,2–0,3 мм) и замкнутыми, то такую пену можно использовать в качестве оболочки кабеля. Воздух – превосходный диэлектрик, он резко улучшает изоляционные свойства защитного покрытия. Улучшилась слышимость, исчезли потрескивания и другие помехи. Расход полиэтилена (достаточно дорогого синтетического полимера) сократился почти на треть, кабель стал легче и дешевле.

ДОЖДЬ, СУХОЕ МОЛОКО И ИСПЫТАНИЕ НАСОСОВ

На первый взгляд между этими объектами прямой связи нет. Объединяет их общность механизма образования воздушного пузырька.

Народная примета гласит, что если на воде во время дождя появляются крупные пузыри, то дождь будет продолжительным. Скоростная киносъемка показала, что падающая дождевая капля в определенных условиях расплющивается и имеет форму линзы или блина. При падении она деформируется, прогибается, и кажется, будто колпачок падает на поверхность воды. Внутри колпачка давление воздуха оказывается больше, чем снаружи. Капелька-пузырек держится на поверхности воды. Но так бывает, если на своем пути капелька проходит слой теплого воздуха – идет теплый летний дождь. Такие теплые потоки в нижних слоях атмосферы вызывают интенсивное испарение воды. Пары снова конденсируются в верхних холодных слоях атмосферы, и дождь продолжается.

Нечто подобное происходит и при получении сухого молока в аппаратах с пенным способом испарения. Свежее молоко переливается на полках сушильного аппарата. Для ускорения испарения воды внутри аппарата поддерживают небольшой вакуум. Под пленкой молока создается повышенное давление водяного пара, и пленка раздувается в пузырек. Поверхность испарения еще больше увеличивается. Пленка высыхает, образуя сухой молочный порошок. Разрежение, специально создаваемое в сушильном аппарате, обеспечивает интенсивное испарение воды из молока даже при небольшой температуре нагрева. Невысокие температуры способствуют сохранению всех полезных компонентов молока – витаминов, белка и др. Таким же путем получают растворимые кофе и чай, упаривают соки цитрусовых, готовят разнообразные пюре и томатную пасту.

Сложные устройства, работающие под давлением, например многоступенчатые насосы высокого давления для перекачки газа, нефти, химических продуктов после сборки обязательно испытывают на герметичность. Обычно непроницаемость этих аппаратов определяют с помощью воды. Затем воду из агрегата нужно удалить во избежание коррозии при хранении на складе и транспортировке.

Как удалить остатки воды? Если разбирать, то герметичность будет нарушена, и операцию придется повторять, как в присказке, когда ворону сначала мочили, затем сушили, затем снова мочили и так без конца. Поступают так: в воду, с помощью которой определяют герметичность, добавляют ПАВ. По окончании испытаний через агрегат продувают теплый воздух. Вода вспенивается, и большая часть пены, а следовательно, и воды воздухом выносится из насоса. Остатки воды быстро высыхают, так как пена создает большую поверхность испарения.

ПЕНА-СМАЗЧИК

Режущий инструмент (резцы, сверла, фрезы, протяжки и др.) в процессе работы непрерывно охлаждают струйкой жидкости. Хладоагентом служат эмульсии, состоящие из воды, масла, эмульгатора (ПАВ) и некоторых добавок. Расход эмульсии даже на один станок довольно большой, а машиностроительный завод потребляет в сутки несколько тонн такого хладоагента. Сбрасывать в сточные воды отработанную эмульсию нельзя, а утилизировать ее сложно.

Два десятилетия назад появилась идея охлаждать режущий инструмент масляным туманом. Однако оказалось, что распыленное масло (туман) мешает станочнику и загрязняет воздух. А почему бы не создать из эмульсии пену и подавать ее вместе с воздухом на инструмент? Расход жидкости и электроэнергии на ее перекачку резко сократится, а охлаждение мыльной пленкой, несомненно, более эффективно, чем струей. Может быть, это непривычно, но для проведения эксперимента нужно так мало: сжатый воздух из шланга, жестянка в качестве резервуара для непрерывного приготовления пены. И все.

Высказанная нами идея пенного способа охлаждения режущего инструмента ждет энтузиаста для проверки, доводки и реализации.

ПЕНОЙ СО ДНА ОКЕАНА

Подъем затонувших кораблей со дна морей и океанов дело не только интересное и нужное, но и выгодное. Интересное, потому что позволяет лучше узнать историю, если корабль старый; нужное, потому что расчистка дна в портах, на рейдах и просто в море делает судоходство и рыболовство безопасным; выгодное, потому что вместе со старинными кораблями поднимают много золота, серебра, драгоценных камней, а с современными судами – различное оборудование, да и просто много металла, ибо масса судов огромна.

Раньше подъем судов осуществлялся так. К корпусу судна прикрепляли металлические цистерны, наполненные водой. Затем воду вытесняли сжатым воздухом, они всплывали, увлекая за собой корабль. Это была трудоемкая, длительная операция.

В 1965 году специалисты голландской фирмы «Вейсмюллер» закачали по трубопроводу в трюмы траулера «Джако Мина», затонувшего на глубине 18 м, несколько сот кубических метров легчайших водонепроницаемых шариков пенополистирола. Объемная масса этой вспененной пластмассы около 15 кг/м^3. Следовательно, каждый литр пенополистирола может поднять со дна моря 950 граммов полезного груза, а один кубический метр – почти тонну. Зная массу корабля, легко рассчитать объем вспененного полистирола, который нужно закачать внутрь поднимаемого корабля.

Через несколько лет советские спасатели подобным образом подняли со дна Черного моря теплоход «Моздок», затонувший во время Великой Отечественной войны.

Однако впоследствии у гранулированного «пенного спасателя» выявились серьезные недостатки. Пенополистирольные шарики скапливаются под потолком трюма и при подъеме судна в случае качки легко смещаются к одному борту – опасность новой аварии в этом случае очень велика. Поэтому сейчас предпочитают закачивать в судно полиуретановую пену. Подъемная сила такой пены не ниже, чем у пенополистирольных шариков. Жидкая вспененная масса накрепко приклеивается к переборкам корабля и быстро затвердевает. После подъема эта пена легко удаляется. Такой «пенный спасатель» позволяет поднимать корабли даже при сильном волнении на море.

12-111

Этот принцип может быть использован и для спасения летательных аппаратов, затонувших в результате аварии.

Сотрудники Калифорнийского океанографического института под руководством одного из первых американских космонавтов Скотта Карпентера осуществили подъем затонувшего самолета, накачав его фюзеляж «пузырьками специальной пластмассовой пены», как писали об этом журналисты.

ПОДРОБНОСТИ НЕИЗВЕСТНЫ...

Причиной пожаров на самолетах иногда бывает утечка горючего из баков. Особенно если горючим служит бензин, на котором работают поршневые двигатели. Реактивные самолеты потребляют менее опасный в пожарном отношении керосин. Но при пробое топливного бака пулей или осколком возможность пожара в обоих случаях велика.

Американский патент предусматривает применение вещества, которое при впрыскивании в поврежденные топливные баки образует твердую пену, препятствующую вытеканию горючего из бака. О составе вещества и способе получения пены из него патент, естественно, умалчивает...

В ЦЕЛЯХ ЭКОНОМИИ БЕНЗИНА

Часть энергии двигателя тепловоза, морского корабля, самолета или автомобиля расходуется на перемещение самого транспортного средства. Иногда транспорт в 1,5–2 раза тяжелее перевозимого груза. Очевидно, один из самых перспективных материалов для корпусов автомобилей, трамваев и другого транспорта – это пластмассы, наполненные пустотелыми микроскопическими стеклянными пузырьками. По виду такие шарики напоминают тонкую муку. Они снижают массу обычных пластиков на 30%. Получается твердая пена. В эту пену при изготовлении деталей кузова вводят высокопрочные и легкие армирующие волокна, например угольное волокно. Получаемый материал называется полимерным композитом (композиционным материалом). По прочности он не уступает алюминию, а по удельной прочности (отношение прочности к массе материала) превосходит все применяемые ныне в автостроении металлы.

Фирма «Форд» уже проводит дорожные испытания автофургонов, изготовленных с применением таких материалов. Особенно большой эффект достигается при применении композитов для корпусов автомобильных, железнодорожных и морских рефрижераторов: теплопроводность полимерной твердой пены почти впятеро ниже, чем у металлов.

ПЕНА В КОСМОСЕ

На американском космическом корабле «Джемини» в качестве источника воды и электроэнергии был использован водородный топливный элемент. Общая масса всего устройства и сырьевых материалов составляла около 300 кг. Было получено 500 кВт·ч электроэнергии и 200 л воды, а за 14 полетов кораблей типа «Аполлон» получено 1000 кВт·ч и 600 кг воды. Замена обычного электролита вспененным (с мельчайшими пузырьками размером 0,25–0,5 мкм) позволила увеличить мощность таких топливных элементов в 1,5 раза. При полетах в космосе масса аппарата играет первостепенную роль.

Есть еще одна признанная область использования пены, без которой невозможно освоение космоса. Температура внутри ракет и космических кораблей не должна быть выше 40°C. Для защиты от перегрева используют

пенокорунд и некоторые виды пенокерамики, которые слоем в несколько сантиметров наносят на наружную поверхность корпуса ракеты. Такие материалы получают смешиванием керамической шихты со специальной пеной. Затем следует сушка и обжиг.

При возвращении на Землю космического аппарата на его поверхности несколько минут бушует огненный смерч из-за нагревания стенок в результате трения о воздух. Для дополнительной теплоизоляции наносят тонкие слои платины или палладия на пенокерамику. На выставке США в Москве был показан «Аполлон», вернувшийся из космоса. На его поверхности, защищенной такой пенокерамикой, хорошо были видны следы действия громадной температуры. Пенная изоляция сумела погасить ее опасное воздействие.

Подобную космическую шубу можно получить и из ... углерода. Для получения такой пены полиакрилонитрил растворяют в водном растворе хлорида цинка или роданида натрия и с помощью скоростной мешалки из раствора готовят пену, которую затем окисляют нагреванием до 160–280°C. Полученный скелет пены дополнительно обугливают нагреванием до 600–700°C со скоростью нагрева до 100 градусов в час. Получается хороший материал с низкой теплопроводностью. Пригодна эта «черная пена» и для изготовления жаропрочных фильтров. Ведь фильтровать приходится не только воду, но и нагретые жидкости. И даже расплавленные металлы.

ПЕНА УКРОЩАЕТ ГРОХОТ

Чтобы избавиться от производственного шума, надо устранить его причину. К сожалению, чаще всего это невозможно. Поэтому либо защищают уши, либо пытаются изолировать источник шума. Наушники, даже самые совершенные, стесняют работу, затрудняют общение. Кроме того, шум может быть слышен и за пределами

предприятия, а заставить всех окрестных жителей носить наушники трудновато. Очевидно, способ акустической изоляции источников шума более универсален. Машины и механизмы закрывают кожухами из войлока и резины, покрывают их поверхности пенопластом. Но при больших размерах и сложных конфигурациях механизмов все это обходится довольно дорого.

Простой и очень дешевый способ укрощения шумов позволила создать пена, с ее помощью удалось «надеть» на шумящие механизмы акустический колпак. Делается это следующим образом. Грохочущую машину покрывают толстым одеялом из мыльной пены. Движущиеся детали не только не разрушают такое покрытие, наоборот, – еще сильнее взбивают его. Опыты прошли успешно. Мыльная пена прекрасно глушила звук, особенно в области высоких – самых неприятных – частот. Уровень шума падал в 2–8 и даже в 13 раз. Одновременно пена служила смазкой.

ЛОВУШКА ДЛЯ ПЫЛИ

В карьерах для добычи руды, в подземных переходах некоторых шахт, при переработке асбеста, талька и других минералов образуется мельчайшая пыль, которая висит в воздухе, проникает в механизмы, в кабины экскаваторов и ... в легкие работающих. Всякая пыль вредна для органов дыхания. Пыль, содержащая силикаты, особенно вредна, так как вызывает тяжелое заболевание – силикоз. По этой причине в нашей стране запрещено применение пескоструйных аппаратов для очистки металлического литья, корпусов кораблей. Там, где пыление предотвратить невозможно, в воздухе разбрызгивают воду. Так, например, поступают в шахтах: воду форсунками распыляют вблизи режущих узлов угледобывающих комбай-

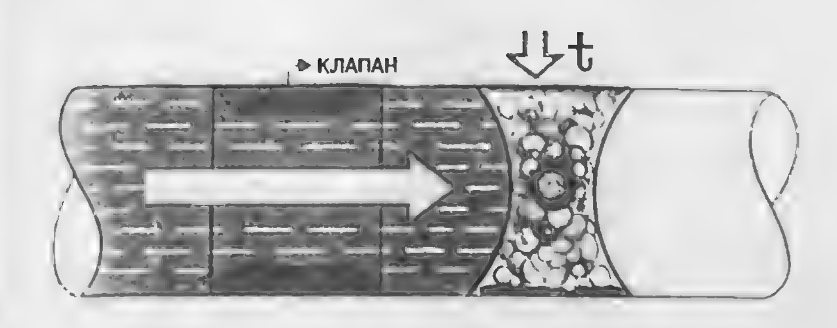
нов. Таким же способом снижают содержание пыли в забоях после взрывных работ. Но вода создает другое неудобство – высокую влажность воздуха, грязь под ногами. Эффект обеспыливания усиливается, если к воде добавить вещества-смачиватели. А это тоже ПАВ, способствующие образованию более мелких капель. Еще более эффективными пылеулавливателями оказались пены. Расход жидкости снижается в десятки раз, а эффект обеспыливания повышается в 3–4 раза.

Неожиданный способ борьбы с загрязнением природной среды с помощью пены разработан в Филадельфийском университете. Создана машина, производящая из полимерной смолы тонкие и прочные пузыри диаметром 70 см. Пыль и другие частицы, витающие в атмосфере, прилипают к поверхности пузырей, а затем их собирают и уничтожают. Ярко, зрелищно, надежно, безопасно.

АВАРИЙНЫЙ КЛАПАН

Не только пыль может улавливать пена. В Японии запатентована новая конструкция аварийного клапана для трубопроводов. В магистраль через определенные отрезки вставляются тонкие кольца из пластмассы с твердым пенообразователем (порофором). При нормальных или слегка повышенных температурах кольцо не препятствует движению жидкостей и газов. Но если в результате пожара или взрыва температура поднимется, один или несколько пластмассовых клапанов расплавятся, вспучатся и надежно закупорят трубопровод, блокируя тем самым поступление горючих жидкостей (нефть, нефтепродукты, некоторые химические реагенты) и газов в зону пожара.

Несколько видоизменив конструкцию клапана, его можно использовать с противоположной целью – для открывания водоводов и других подобных систем при повышенных температурах. Таким образом можно осу-



ществлять тушение пожара или его предупреждение при перегреве помещений или оборудования автоматически, без сложной системы сигнализации.

ВСЕГДА ХОЛОДНЫЙ КУВШИН

В Средней Азии, в жарких африканских пустынях приезжих европейцев всегда удивляют холодные напитки, которые хранят не в холодильнике, не на льду, а в узкогорлой керамической посуде. Эффект такого термостатирования был известен еще в древности. Гончар при перемешивании добавлял к глине камышовый пух. (Камыш, как известно, растет на болотах, по берегам озер и рек; именно в таких местах и поселялись люди). При обжиге пушинки выгорали, внутри изделия оставались мелкие поры, получалась вспененная глина. Кстати, под микроскопом каждая пушинка напоминает спортивную булаву; при выгорании пушинки образуется полость в виде шарика с узким канальцем-хвостиком. Не последнюю роль в охлаждении кувшина с водой играют эти хвостики. Некоторое количество влаги по этим канальцам проникает на поверхность и испаряется. Теплота испарения у воды огромная; за счет этого наружная поверхность кувшина всегда будет холодной.

ХОЛОДНАЯ СТАЛЬ
И ТЕПЛАЯ ПЛАСТМАССА

Даже в жаркий день прикосновение к металлу, находящемуся в помещении или в тени, создает впечатление, будто их поверхность «холоднее» воздуха. Если взять в руки кусочек пенополистирола с гладкой поверхностью (белого пористого материала, знакомого нам как упаковочная обкладка в ящиках с телевизорами и радиоприемниками), то в местах контакта с пальцами почти немедленно возникает ощущение тепла: материал кажется «теплее» окружающего воздуха. Конечно, дело обстоит иначе. И поверхность стали, и поверхность вспененного полимера имеют ту же температуру, что и окружающий воздух. Но теплопроводность металла очень высока, и тепло наших пальцев быстро переносится в глубь металла, пальцы «охлаждаются». Воздух, заполняющий пустоты в пеностироле, плохой проводник тепла, поэтому полимер «теплый». Теплопроводность воздуха снижается по мере уменьшения его содержания в единице объема, т.е. при понижении давления. На этом основано действие термоса, главной частью которого является двухстенный стеклянный баллон с зеркальной поверхностью и вакуумом между стенками. Если бы удалось создать вспененный полимерный материал с вакуумом внутри газовых пузырьков, то он вполне смог бы заменить хрупкий стеклянный баллон. Эта техническая задача достаточно сложна и ждет еще своего решения. Но уже сейчас научились заполнять пузырьки газом, теплопроводность которого ниже, чем у воздуха. Из такой твердой пены делают сумки-холодильники.

Эффект условно «холодных» и условно «теплых» поверхностей обязательно учитывается в строительстве и при конструировании различных машин и аппаратов. Интерьеры общественных и жилых зданий в жарких районах облицовывают плотным камнем или бетоном, а в северных районах – поризованными (воздухонасы-



щенными) отделками. Ручки управления на машинах и приборах, рабочие кресла, как правило, делают из пенопластмасс, пластмассой облицовывают поручни в общественном транспорте.

СТОРОЖ
И КОНТРОЛЕР

При утечке жидкостей из труб, находящихся глубоко под землей, жидкость не поднимается на поверхность, а уходит вглубь. Потери могут быть очень большими. Но если в перекачиваемой жидкости растворен газ, то на поверхности почвы быстро появляются пузырьки.

В эпоху «сухого закона» официальное производство спирта в США строго контролировалось. Но из хранилищ одного спиртового завода спирт постоянно исчезал, несмотря на все меры охраны. Оказалось, что ловкие гангстеры сделали от хранилища спирта отвод из тонкой трубки под землей рядом со строившейся линией газопровода. Этот спиртопровод слегка подтекал, и спирт постепенно растворял гуминовые вещества почвы, но небольшая утечка спирта в неплотных стыках не обнаруживалась до тех пор, пока не стали проверять газопровод

газом под давлением. Газ через неплотность газопровода просачивался во влажный грунт и вспенивал спиртовой раствор гуминового вещества. Обильная пена на поверхности земли выдала секрет.

Образование мыльных пузырьков использовано в приборе для контроля плотности сварных швов. Сварное соединение смачивается мыльным раствором. На шов устанавливается переносная вакуум-камера. Если в сварном шве есть неплотности, то через них будет поступать воздух в вакуум-камеру. Раствор вспенивается. Тысячи таких установок используются на предприятиях страны и приносят миллионы рублей экономии. Раньше такой контроль проводили путем нагнетания керосина, это огнеопасно и неудобно.

Канадская фирма предложила состав, который обеспечивает образование слоя пузырящейся пены, если даже из самого маленького отверстия вытекает всего 0,00001 мл газа в секунду. С помощью таких пенообразователей осуществляют проверку на герметичность резервуаров с ракетным топливом. Поверхностное натяжение у этого состава весьма незначительно, и пена способна удерживаться на поверхности, покрытой маслом.

МЕТАЛЛИЧЕСКАЯ ПЕНА

Конструкторы давно мечтали о «легком металле», плавающем в воде. В настоящее время разработана и освоена промышленностью технология пенометалла или, как его еще называют, «металлической пены».

В принципе процесс изготовления пенометалла прост. Жидкий металл пропускается через шнековое устройство, напоминающее мясорубку, при этом в него замешивается порошок гидрида титана. При определенной температуре, которая всегда выше температуры плавления металла, гидрид разлагается, выделяется большое количество

пузырьков водорода, вспенивающих жидкий металл. Высвободившийся при реакции титан «усваивается» алюминием или другим металлом, служащим основой. Вспененная газированная масса быстро разливается в формы и застывает. Образуется ячеистый металл с объемной массой 0,16–0,6 г/см³. Поры в ячеистой массе в основном закрытые, поэтому вспененные металлы плавают в воде.

Разработана технология получения металлов сетчатого строения, их структура отличается высокой открытой (сообщающейся) пористостью. Такие пенометаллы называются губчатой металлической пеной. В этом случае жидкий металл осаждается на подложку из полиуретановой пены.

В качестве основы пенометаллов применяются, главным образом, алюминий, магний и их сплавы и другие металлы: цинк, свинец, железо, медь, никель, сталь и сплавы этих металлов с магнием, титаном.

Хотя пенометаллы в своей основе являются металлическими, по свойствам они значительно отличаются от исходных металлов; это новые материалы.

Пенометаллы обладают целым комплексом превосходных свойств: объемная масса у них ниже, чем у древесины, а прочность значительно выше; они отлично поглощают энергию удара, легко обрабатываются резанием, в них можно вбивать крепежные детали, склеивать их с другими материалами, например со стеклом, пластиками, фанерой. Металлические «пены» красивые, со своеобразным трехмерным декоративным рисунком, проявляют хорошие акустические свойства. Пенометаллы хорошо свариваются, имеют высокие демпфирующие свойства (от немецкого *Dämpfer – гаситель*; способность материалов гасить механические колебания, например вибрацию, или снижать резонансные колебания), повышенную коррозионную стойкость. Прочность изделия из металлической пены значительно повышается при поверхностной обработке – прокатке, ковке, штамповке.

Металлические пены отличаются неожиданным и удивительным свойством – они не плавятся даже при температуре, соответствующей точке плавления исходного сплава. Так, технические сплавы алюминия плавятся при 560–640°С. Пеноалюминий нагревали в электропечи при температуре 1400°С, однако он не расплавился; его выдерживали 100 ч при температуре 1482°С, он сильно окислился, но его прочность и размеры деталей остались прежними. Пенометаллы можно многократно нагревать до высоких температур и быстро охлаждать, при этом свойства их изменяются незначительно; другие пеносистемы не выдерживают подобных испытаний.

Предполагается, что изделия из пенометаллов найдут широкое применение, и прежде всего в строительстве: перегородки, двери, потолочные перекрытия, облицовочные материалы, материалы для полов, декоративные плиты и многое другое. Уже сейчас некоторые отрасли промышленности не могут обходиться без металлической пены, например ракетостроение и космическая техника, в которых пористые металлы применяются для изготовления защитных экранов от радиации, стеллажей и упаковки для электронных машин и приборов. Пенометаллы используют также для изготовления ударопрочных деталей автомобилей (передние части радиаторов, опоры для спинок задних сидений, рулевое управление, панели для передних и задних спинок и др.), некоторых деталей самолетов, железнодорожных вагонов (прежде всего, рефрижераторов), лифтов, контейнеров и т. д. Как правило, из пеноматериалов производят заготовки круглого и прямоугольного сечения, фасонные полуфабрикаты.

Освоено производство гибких листов больших размеров из металлической пены с регулируемыми значениями пористости. Для этого в пенометалле содержание воздуха по объему доводят до 93–98%, затем полученный материал прокатывают в листы.

Дальнейшее совершенствование технологии и снижение стоимости пенометаллов значительно расширит области применения металлической пены.

Мы рассказали о многих областях техники, науки, здравоохранения, где хрупкий воздушный пузырек ускоряет технологические процессы, спасает от аварий, гасит пожары, устраняет пыль, грязь и шум, защищает окружающую среду и лечит людей.

Можно было бы привести еще десятки подобных примеров. Мы ограничимся тем, что в заключение просто перечислим еще несколько областей, где пена «трудится».

Разработан специальный процесс крашения тканей и пряжи в пене. В результате удалось сократить расход воды почти в 40 раз, а расход красителей – на 15%, уменьшить металлоемкость и габариты оборудования.

Искусственное вспенивание массы при гидрировании значительно ускоряет и упрощает процесс получения пищевых жиров и специальных технических масел.

При розливе напитков, детского питания, культуральных сред (микробиологическая промышленность) и других продуктов длительного хранения поточные линии оборудуются дозаторами пены. Она заполняет свободное пространство над уровнем жидкости непосредственно перед герметизацией емкостей. Так создается простая и надежная преграда для микроорганизмов и окисляющего действия воздуха.

Освоено производство кормовых дрожжей на небольших животноводческих фермах в малогабаритных аппаратах простой конструкции с использованием пены. Она позволила отказаться от интенсивного перемешивания, что упростило обслуживание оборудования и резко уменьшило его размеры. Культивирование дрожжей проводят в условиях обильного вспенивания по системе жидкость – пена – жидкость. Большая площадь поверхности раздела жидкость – воздух в пене обеспечивает активный биосинтез и хороший выход дрожжей.

В нефтяной промышленности с помощью пены извлекают нефть из водонефтяных эмульсий. Такую эмульсию методом флотации разделяют на нефть и воду, а затем, изменяя кислотность среды, гасят пену и выделяют нефть.

КАК ПОДАВИТЬ ПЕНУ?



Разрушить пену – казалось бы, что может быть проще? Легкое дуновение ветерка, и трепещущие хлопья пены у линии морского прибоя исчезли. Но когда многометровый пенный вал ползет из вакуум-фильтров на целлюлозных фабриках или из резервуаров на станциях биологической очистки сточных вод, никаким «дуновением ветерка» с такой пеной не совладаешь.

Пену нужно обязательно уничтожать при производстве антибиотиков, бумаги, асбоцементного шифера, лекарств, сахара, дрожжей, при очистке сточных вод, при обработке пряжи и тканей и во многих других случаях.

ДВА ГЛАВНЫХ ПУТИ

Способы пеногашения столь же многообразны, как и способы получения пены или как случаи ее самопроизвольного возникновения. Возможны два пути борьбы с пеной: предупреждение пенообразования и разрушение уже образовавшейся пены. Для предупреждения пенообразования используют прежде всего химические способы, т. е. применяют вещества, препятствующие образо-

ванию пены. К сожалению, эти вещества часто загрязняют конечную продукцию или затрудняют технологических процесс.

Все ныне известные способы разрушения пены можно подразделить на две основные группы: химические и нехимические. Наибольшее распространение получило *химическое пеногашение.* Главный недостаток этого способа – загрязнение рабочих растворов. Однако новые способы пеногашения (гашение пены пеной, гашение пены на пористой подложке-носителе и другие) позволяют почти полностью устранить этот недостаток. Образующуюся пену перемещают тем или иным путем в особую емкость, где она при контакте со вспененным пеногасителем разрушается. Сочетание слов «вспененный пеногаситель» может показаться странным только на первый взгляд. Гашение одной пены другой позволяет не только исключить влияние пеногасителей на рабочие растворы, но и резко сократить их расход.

Химические пеногасители применяют в виде распыленных капель (аэрозоль), эмульсий, растворов. Практически для каждого типа пены приходится подбирать и пеногаситель, и способ его введения. В значительной степени это объясняется отсутствием стройной теории пеногашения. Еще двадцать лет назад существовало единое мнение: главное, чтобы вещество-пеногаситель не растворялось в пенообразующем растворе. Сейчас требования к пеногасителю сильно расширились и усложнились. Стали применять комбинированные пеногасители из двух и более компонентов, один из которых может растворяться в пенообразующей среде. Применение смеси компонентов усиливает эффект пеногашения. Здесь обнаруживается явление *синергизма*, т. е. взаимное усиление действия каждого из компонентов. Объяснить это можно так: если эффект одного пеногасителя составляет величину A, а второго – B, то смесь этих веществ (в тех же количествах) дает уже эффект C, величина которого больше



суммы *А* и *В*. Одно вещество усиливает действие другого.

К сожалению, явление синергизма при оценке пеногасителей совершенно не изучено. Подбор таких взаимоусиливающих смесей осуществляется чаще всего методом проб и ошибок. Не удивительно, что иностранные патенты на комбинированные пеногасители достаточно многочисленны.

В нашей стране в этой области сделано много изобретений, которые зачастую предусматривают применение не только химически чистых веществ, но и промышленных отходов. Пеногасители на основе отходов содержат, как правило, несколько соединений, и среди них есть, очевидно, такие, которые усиливают действие друг друга. Существенное достоинство их в невысокой стоимости.

ТРЕБОВАНИЙ БОЛЬШЕ, ЧЕМ КРИТЕРИЕВ

Вещества для химического пеногашения обязательно должны удовлетворять следующим требованиям:

1) быстро гасить пену уже при малых концентрациях и длительное время препятствовать новому вспениванию растворов;

2) не изменять свойств перерабатываемых и вновь получаемых веществ, а также не замедлять технологический процесс и не снижать производительность оборудования;

3) не изменять свои свойства при хранении, а также при нагревании в процессе пеногашения.

Многие производства предъявляют к химическим пеногасителям особые требования; в пищевой промышленности – это гарантированная нетоксичность, в микробиологической промышленности – абсолютная стерильность. А гашение пены, возникающей при промывке цистерн для пероксида водорода и других сильных окислителей, исключает употребление горючих веществ.

Несмотря на широкое применение пеногасителей, единого стандартного метода оценки их эффективности не существует. И это понятно, ибо хотя цель преследуется одна – гашение пены в пенящихся жидкостях и маслах, в каждом конкретном случае пеногаситель должен обладать комплексом специфических свойств. Например, важнейшей характеристикой пеногасителя, предназначенного для подавления флотационной пены, а также пены сточных вод, является объем пены, разрушенной 1 г или 1 кг пеногасящего вещества. Только при малом расходе пеногасителя его применение в таких случаях экономически эффективно.

В микробиологической промышленности и при производстве дрожжей эффективность пеногасителей оценивается высотой слоя пены, измеряемой через равные интервалы времени после введения пеногасителя. Тот пеногаситель лучше, который делает столб пены меньше не только в начале испытаний, но и после определенного, достаточно большого промежутка времени. В сахарной промышленности эффективность веществ для пеногашения оценивают количеством пеногасителя, обеспечивающим снижение вспениваемости на 50%. Для этого проводят холостой (без пеногасителя) и контрольные опыты, вводя в рабочие растворы пеногаситель в различной концентрации.

Эффективность пеногасителей, как показал длительный опыт их применения, зависит от большого числа

факторов, и в первую очередь от свойств самого пеногасителя, характеристик пенящейся жидкости и конкретных условий, при которых происходит вспенивание.

Для пеногасителей характерна специфичность действия: вещества, обеспечивающие гашение пены в одной пенящейся среде, зачастую оказываются малоэффективными при других условиях применения или в других средах.

ПЕНОГАСИТЕЛИ – ТАКИЕ РАЗНЫЕ

Сейчас в промышленности и в лабораториях применяют сотни самых разнообразных пеногасителей. Среди них – природные жиры и масла, органические кислоты, кремнийорганические соединения, спирты, эфиры, неорганические продукты, а также многие отходы промышленной химической переработки. В производстве сахара и спиртов для пищевых целей используют подсолнечное, оливковое, касторовое масло, в витаминной промышленности – подсолнечное масло, в производстве дрожжей – масло вазелиновое, при проведении ферментации – свиной жир. Помимо этих природных жиров и масел в пищевой и фармацевтической промышленности находят широкое применение различные искусственно синтезируемые эфиры – этилацетат, эмилацетат и другие, а также кремнийорганические соединения. При этом экономятся природные пищевые ресурсы.

Для предупреждения вспенивания смазочных масел, лаков, олифы, массы для производства бумаги используют спирты – изоамиловый, октиловый, цетиловый, глицерин, а также некоторые кремнийорганические соединения.

Пеногашение при обработке сточных вод, растворов моющих средств, буровых растворов осуществляют с помощью спиртов, стеариновой кислоты, фосфорорганических соединений (например, трибутилфосфата), извести, а также отходов промышленности – сивушного масла, соапстока и таллового масла. Все названные вещества представляют собой вторичные продукты нескольких отраслей промышленности: сивушные масла – продукт перегонки этилового спирта-сырца, соапсток – отход, образующийся при переработке на масло семян льна, подсолнуха, хлопка. Талловое масло образуется при производстве целлюлозы из древесины путем щелочной варки.

Пену, возникающую при очистке органических веществ, гасят борной кислотой, природными чистыми высокодисперсными глинами (бентонит) и т. д.

Химические методы применяются также для предотвращения пенообразования в кипящих средах. Само кипение создает благоприятные условия для пенообразования в растворах с поверхностно-активными веществами, поэтому пеногашение кипящих сред имеет определенную специфику. Скоростная киносъемка показала, что капли пеногасителя прилипают к поднимающимся со дна пузырькам воздуха или газа, растекаются по поверхности раздела, снижают прочность пленок, и за счет этого мелкие пузырьки объединяются в более крупные, устойчивость которых значительно ниже. Всплывая на поверхность кипящей жидкости, крупные пузыри лопаются.

Для пеногашения в кипящих технических растворах чаще всего применяют амиды, а также другие жидкие и твердые вещества, не обладающие летучестью при температуре кипения вспенивающейся жидкости.

Наиболее широкое распространение получили пеногасители из семейства кремнийорганических высокомолекулярных соединений. Они оказались эффективными практически во всех случаях гашения пены. К тому же они устойчивы, химически инертны, дешевы, доступны, хорошо «работают» при высоких температурах. Индиви-

дуальные вещества в качестве пеногасителей используют в основном при производстве пищевых продуктов и лекарственных препаратов. В остальных случаях пеногасители – это сложные смеси переменного состава, в которые входят пеногасящие агенты (два и более), растворители (диспергаторы), эмульгатор и стабилизатор эмульсии. Растворителями служат вазелиновое и парафиновое масла, углеводороды, скипидар.

В качестве пеногасителей раньше в технологии лекарственных препаратов применяли кашалотовый жир и растительные масла. Сейчас они заменены менее дефицитными веществами из группы антифомсиланов, о которых мы уже говорили.

Антифомсилан – в этом слове три корня: химическое название – силан, английское foam (пена) и латинское – anti (дословно – «силан против пены»).

Трехъязычный гибрид, иначе именуемый «продукт 783», представляет собой кремнийорганический пеногаситель, синтезированный советскими химиками и предназначенный для пеногашения при производстве антибиотиков.

В настоящее время антифомсиланы – это уже целое семейство, объединяющее кремнийорганические соединения с большой пеногасящей способностью и представляющие собой производные силана. Налажено многотоннажное производство таких кремнийорганических соединений; список их насчитывает уже десятки названий.

Отметим также, что при производстве пенициллина, колимицина, мицирина и других антибиотиков кремнийорганические пеногасители вводят в питательную среду в виде смеси с бензином и вазелиновым маслом в количестве от 0,01 до 0,05% от массы антибиотика; это в 33 раза меньше по сравнению с количеством кашалотового жира и в 100–500 раз меньше по сравнению с количеством растительного масла, применявшимися ранее для этих же целей.

При длительном использовании химические пеногасители постепенно теряют свою эффективность. Связано это прежде всего с изменением физико-химических свойств пеногасителя, а также с осаждением пеногасителя на поверхности взвешенных частиц или на стенках аппаратов и труб. Кроме того, некоторые пеногасители, например масла и жиры, применяемые при ферментации, могут усваиваться микроорганизмами. Поэтому химические пеногасители необходимо периодически добавлять в аппараты с пенящимися средами. На производстве за пенообразованием в технологических агрегатах следят непрерывно, добавляя пеногасители по мере надобности, когда начинается интенсивный рост пены.

УСТРОЙСТВА ДЛЯ ПЕНОГАШЕНИЯ – ЭТО ОЧЕНЬ ВАЖНО

Для введения пеногасителей в пенящиеся среды существует множество простых и сложных устройств и приспособлений. Все известные способы подачи веществ для гашения пены подразделяют на бесконтрольные и контролируемые.

Суть бесконтрольной подачи ясна уже из самого названия, однако приемы проведения бесконтрольного способа могут быть различными. Например, пеногаситель можно вводить один раз в начале процесса, тогда сначала возникает избыток пеногасителя, а на последней стадии – его недостаток. Это очень неудобно, поскольку избыток пеногасителя может замедлить скорость технологического процесса, а при его недостатке начинается обильное пенообразование, печальные последствия которого нам уже известны. Другой прием на первый взгляд представляется более приемлемым – пеногаситель непрерывно, по каплям, вводят в среду. И в этом случае концентрация его отнюдь не оптимальна.

Достоинство у этих методов одно – они очень просты в исполнении, и недостаток общий – неуправляемость процессом. Более привлекательны, но и более сложны, контролируемые способы. Здесь также возможны два варианта. Первый – ручная подача и визуальное наблюдение за состоянием процесса. Этот метод близок к бесконтрольным. Второй способ основан на автоматическом регулировании дозировки. Он имеет сложное аппаратурное оформление, которое включает следующие блоки: датчик уровня пены, исполнительный механизм подачи пеногасителя и емкость для хранения пеногасящего состава. Используют, как правило, электрические датчики, контролирующие объем пены на одном или на нескольких уровнях. Датчик – электрическая цепь, которая замыкается при достижении пеной определенной высоты. Исполнительный механизм открывает на заданный отрезок времени вентиль (кран), через который из бака в аппарат подается пеногаситель. Под его действием пена разрушается и датчик отключается.

ПЕНОГАШЕНИЕ БЕЗ ПЕНОГАСИТЕЛЕЙ

К нехимическим способам подавления пены прибегают в тех случаях, когда химические пеногасители ухудшают технологическую переработку полуфабриката, оказывают токсическое действие на конечный продукт, например на некоторые пищевые и лекарственные продукты, или значительно удорожают продукцию (так, применение пеногасителей при производстве кормовых дрожжей повышает их себестоимость на 20%). Эти способы позволяют полностью или частично избежать введения химических препаратов в пенящиеся среды. Специалисты подразделяют их на физические и механические. К физическим способам пеногашения относят термические (разрушение

пены осуществляется нагревом), акустические (воздействие ультразвуком), электрические (разрушение пены под действием электрического поля). Об этих способах мы рассказываем ниже.

Механические способы пеногашения объединяют все пути разрушения пузырьков пены механическим воздействием. Для этого служат различные устройства-разрушители пен: диспергаторы, сетки и крыльчатки, струя пара или газа (воздуха), вакуумные устройства, своеобразные решетчатые циклоны и др. Механические способы пеногашения по характеру воздействия на пену могут быть центробежными (пена разрушается движущимися устройствами или разбивается о неподвижную поверхность; гидродинамическими и аэродинамическими (пена разрушается струей жидкости или газа, выбрасываемыми под давлением; барометрическими (пена разрушается в результате изменения давления в аппаратах).

Для разрушения пены механическим способом используют различного вида мешалки. В аппаратах химической переработки или синтеза их устанавливают непосредственно на валу перемешивающего устройства в верхней части. Пену хорошо разбивают движущиеся с большой скоростью крыльчатки, турбинки, лопастные колеса, лопасти сложной формы и сетчатые лопасти с большой поверхностью. На многих производствах хорошо зарекомендовал себя центробежный способ разбивания пены о неподвижную стенку аппарата. Два вращающихся диска устанавливают на определенной высоте над уровнем жидкости. Когда накапливающаяся над жидкостью пена достигнет зазора между дисками, она под действием центробежной силы отбрасывается к стенкам аппарата и, ударяясь о них, почти полностью разрушается. Такой дисковый пеноразрушитель способен гасить до 50 м^3 пены в минуту, не давая пене накапливаться выше заданного уровня.

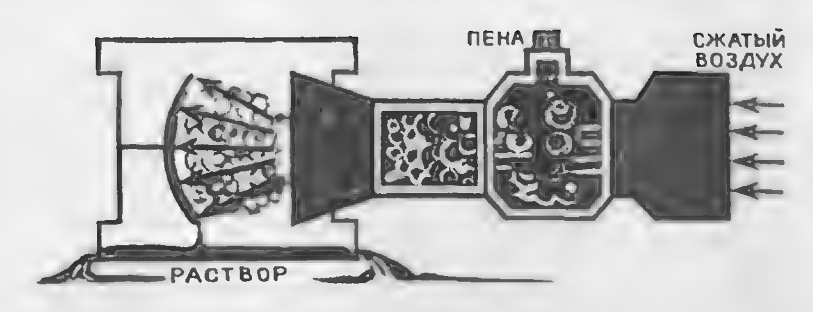
Совсем простой прием применяют, например, при розливе молока; вспененное молоко пропускают с такой большой скоростью, что при соударении с твердой поверхностью пена разрушается.
При производстве кормовых дрожжей, в сахарной, бродильной и других отраслях промышленности «работают» циклонные пеноразрушители. Накапливаясь над жидкостью, пена искусственно или самотеком удаляется из аппарата и, стекая по отбойникам, решеткам, полкам, сеткам, разрушается. Образующаяся при пеногашении жидкость возвращается в технологический аппарат.

ГАСЯТ ПЕНУ ВОДОЙ, СТРУЕЙ ВОЗДУХА...

Механические способы пеногашения малоэффективны при разрушении пен сильнопенящихся жидкостей и вязких пен с прочными стенками пузырьков. Кроме того, механическое пеногашение энергоемко. Поэтому все чаще пену гасят струей жидкости или газа. При этом, как правило, пену предварительно отделяют от жидкости. Затем пена разрушается потоком жидкости (гидродинамический способ) или струей воздуха под давлением (аэродинамический способ).

Вот примеры работы гидродинамических гасителей пены. В верхней части чана для выращивания дрожжей монтируется переливной наклонный желоб, по которому пена самотеком двигается в пеноотделитель. Протекая по этому желобу, пена разрушается струями жидкости, выбрасываемыми под давлением из сопел. Пеноразрушающей жидкостью служит рабочий раствор из чана, т.е. получается замкнутая система, в которую при пеногашении ничего не добавляется и из которой ничего не удаляется.

В производстве сахара пену разрушают струей жидкости с помощью «сегнерова колеса». Читателю знакомо это устройство: в парках и на стадионах оно обеспечи-



Воздух несет пену к месту ее «казни»; «лобное место» – вогнутая пластина.

вает равномерный полив газонов перемещающейся по кругу струей воды. Струи жидкости, выбрасываемые из сопел, вращают штуцер с трубой, поэтому пеногашение происходит по всему объему аппарата, а разрушение пены – результат общего действия струи и вращающейся в пене трубки.

Аэродинамический способ пеногашения известен в двух вариантах. Так, при разрушении флотационных пен поток воздуха засасывает пену из пеносборника, разгоняет ее и ударяет о металлические отбойники. От удара газовые пузырьки лопаются. Деаэрированная (лишенная газовой фазы) жидкость падает на дно смесителя и возвращается в технологический цикл. Таким образом, в основе этого варианта аэродинамического разрушения лежит принцип эжектирования пены.

На рисунке показано устройство для гашения пены аэродинамическим путем. Струя воздуха захватывает пену и ударяет ее о неподвижную поверхность.

Пену, образующуюся в кипящих водных растворах неорганических солей, разрушают, используя воздухоструйные приспособления. В выпарном котле по окружности, на некотором расстоянии от стенок и чуть ниже уровня кипящей жидкости, монтируется трубчатое кольцо с отверстиями для подачи воздуха. Когда накапли-

вается большой объем пены, датчик открывает кран ресивера (емкости со сжатым воздухом) или включает компрессор. Струи воздуха разбивают пузырьки пены.

Применяют в промышленности и вакуумные устройства для разрушения пены: в пеносборнике создается разрежение, и под действием внутреннего избыточного давления пузырьки лопаются. На обогатительных фабриках пенный продукт после флотации содержит до 20% частиц угля. «Бронированная» пена самотеком поступает в пеносборник, где с помощью вакуум-насосов создается разрежение. Пена гасится, и образуется пульпа (смесь воды и частиц угля), из которой уголь отделяют фильтрацией.

Вакуумные дегазаторы жидкостей устанавливают на буровых. Буровой раствор всегда содержит газовую фазу, которая ухудшает условия бурения. Раствор дегазируют с помощью разрежения, создаваемого в вакуум-аппаратах. Чем больше разрежение, тем меньше воздуха остается в растворе.

И ЕЩЕ НЕСКОЛЬКИМИ СПОСОБАМИ

В последнее десятилетие для борьбы с пеной на новых производствах и в традиционных технологических процессах широко применяются физические способы пеногашения. Наиболее старый и распространенный способ – *термический*. При нагревании происходит испарение жидкости из пленок пены, в результате чего облегчается их разрыв. Этот принцип используется для пеногашения при сахароварении, при очистке сточных вод, при производстве бумаги и т. д. Пена разрушается или непосредственно под действием струи пара (острый пар) или при контакте с горячей поверхностью аппарата (обычно змеевики). Пеногашение чаще проводят в отдельно смонтированных пеносборниках, а иногда непосредственно в аппа-

ратах. Нагретая металлическая сетка, стенка или любая другая поверхность, а также струя перегретого водяного пара работают по единому принципу: нагрев пленки пены – это разрыв газового пузырька. Регулируют температуру в зоне разрушения пены таким образом, чтобы она была выше температуры кипения растворителя, но не оказывала вредного влияния на конечный продукт химического производства.

Для гашения пены в промышленных аппаратах небольшого объема на фармацевтических заводах, при получении растворимого кофе, многих красителей и т. д. часто применяют *акустический метод* (ультразвуковые устройства); из физических способов пеногашения он наиболее перспективный.

Первые публикации о возможности использовать ультразвук для предотвращения пенообразования появились в 1940–1950-х годах. Но только в последнее время с появлением мощных и экономичных акустических генераторов стали разрушать пену звуком на промышленных установках большой мощности. В этих случаях очень важно правильно подобрать частоту звука. Акустический способ пеногашения не всегда надежен, и его нельзя использовать для разрушения быстро поднимающихся пен.

Существует два типа промышленных устройств звукового пеногашения. Один из них предназначен для ликвидации пены в трубопроводах на выходе из резервуара. Генератор со свистком создает сильное акустическое поле в небольшом пространстве, и проникающая туда пена немедленно разрушается. Свисток – главная часть этого устройства. Он представляет собой сопло с металлической пластиной-резонатором, который прикрепляется одним концом к выходной части сопла. Струя воздуха, пара или жидкости, выходя под давлением из сопла, ударяется о незакрепленный край резонатора, в результате чего он начинает колебаться. Эти колебательные дви-

жения и создают звуковые или ультразвуковые волны, разрушающие пену. Конструкция свистка очень проста, но для того чтобы он работал, нужен сжатый воздух, и в немалых количествах: для пеногашения при ферментации, например, требуется 0,6 л воздуха в минуту на каждый литр вспененной среды.

Устройства звукового пеногашения второго типа – это звуковые сирены. Такие пневматические или электрические сирены создают мощные звуковые излучения либо горизонтально над поверхностью жидкости, либо перпендикулярно к ее поверхности в смесителях, ферментационных сосудах и т. п. Сирена включается, как правило, периодически по мере накопления пены.

Как показывает практика, акустические способы эффективны для подавления пены лишь в технологических аппаратах небольшого объема. Для пеногашения в крупногабаритном оборудовании они непригодны, ибо оказываются столь шумными, что мешают нормальной работе обслуживающего персонала. Ученые и инженеры изыскивают иные надежные способы пеногашения для различных отраслей промышленного производства и научных исследований. В результате этих поисков созданы новые нехимические способы разрушения пены.

Выявлена способность радиоактивных излучений разрушать пленки пены. С гашением различных видов пен успешно справляется поток нейтронов. Многие пены за несколько секунд разрушаются потоком α-частиц. Такое пеногашение не требует энергетических затрат; само пеногасящее устройство невелико по размерам, легко может быть вмонтировано в технологическое оборудование и не требует никакого обслуживания. Элементарные меры биологической защиты делают безопасной работу персонала, но этот способ пеногашения неприемлем в пищевой, фармацевтической и некоторых других отраслях промышленности.

Проходит промышленную доработку пеногашение с помощью электрического разряда непосредственно в пене. Подача высокоимпульсного напряжения вызывает почти мгновенное оседание пены. При этом легко разрушаются даже высокостойкие белковые пены. Однако метод требует надежных мер безопасности, во-первых потому, что гасят пену очень высоким напряжением, а во-вторых потому, что электропроводность пены достаточно велика.

ДРУГОЙ ПУТЬ – ОГРАНИЧЕНИЕ ПЕНООБРАЗОВАНИЯ

Технологическое ограничение пенообразования в промышленности реализуется по нескольким направлениям. Первое – это применение рабочих сред с пониженным пенообразованием. Основная сфера «работы» – биосинтез, машинная стирка белья и мытье посуды. В ферментационных процессах для выращивания биологических культур употребляют многокомпонентные культуральные жидкости. Из одних и тех же компонентов питательной среды во многих случаях можно составить композицию, в которой вспенивание среды будет ограниченным, и необходимость в специальных средствах пеногашения отпадет.

Для машинной стирки в прачечных и мытья посуды на предприятиях общественного питания разработаны специальные моющие средства с ограниченным пенообразованием; они обладают такой же моющей способностью, как и сильнопенящиеся. Моющие средства с ограниченным пенообразованием содержат, как правило, комбинацию нескольких поверхностно-активных веществ, например мыла жирных кислот и синтетические моющие средства. Читатель может легко проверить в домашних условиях эффект ограниченного пенообразования

при совместном применении двух ПАВ. Если в обильную цветную и душистую пену, полученную с помощью шампуня для ванн, добавить немного мыльной пены, произойдет пеногашение: объем пены уменьшится в несколько раз, хотя моющая способность воды останется высокой. А если в ванну с водой одновременно налить шампунь и положить кусочек мыла, то пены образуется совсем мало.

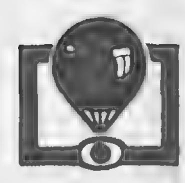
Второе направление – это удаление из технологических растворов, содержащих ПАВ, стабилизаторов пены. В результате устойчивость пены резко снижается, она самопроизвольно разрушается, и накопления больших объемов пены не происходит. Например, при получении дрожжей из культуральных жидкостей на основе патоки удаляют из сырья коллоиды, являющиеся эффективным стабилизатором пены. Для этого обрабатывают раствор чистыми глинами (бентонитом). Если ввести в патоку всего два процента бентонита, устойчивость пены снизится в 6 раз, а объем пены – в 40 раз. Таким же способом борются с обильным пенообразованием при производстве растворимого кофе. Избыток пены снижает выход готового продукта из сушилок. Стабилизатором пены в этом случае являются ионы металлов. Их удаляют из раствора кофе с помощью синтетических ионообменных смол или природных соединений (цеолитов), способных прочно удерживать ионы металла.

Третье направление – изменение режима технологического процесса. Интенсивное пенообразование возникает обычно при переливании и перемешивании жидкости. Можно подобрать такие режимы перемешивания и аэрирования, при которых вспенивание рабочих сред будет незначительным. Тормозят обильное пенообразование пульсирующая аэрация культуральных жидкостей, создание в технологических аппаратах зоны пониженного давления и другие приемы. Например, попеременно повышая и понижая давление воздуха (около 20 циклов в минуту) в аппаратах для ведения ферментационных процессов, удается практически полностью подавить пену. И хотя такой способ ограничения пенообразования несколько усложняет технологический процесс, однако он очень привлекателен для микробиологической, фармацевтической и пищевой промышленности и некоторых химических производств, так как при этом полностью исключается введение в перерабатываемую массу новых химических компонентов.

Объем пены, образующийся в технологических аппаратах, сильно зависит от конструктивных параметров оборудования. Турбулентные потоки в жидкостях, содержащих ПАВ, при переливании и перекачивании вызывают обильное пенообразование. Поэтому при конструировании новых и совершенствовании действующих аппаратов стремятся уменьшить завихрения при движении рабочих сред. Большое значение имеет также отношение диаметра рабочего сосуда к высоте; при равных объемах аппарата чем больше диаметр сосуда, тем меньше высота столба пены и тем менее она устойчива. Поэтому для процессов, в которых возможно интенсивное вспенивание рабочей среды, должны применяться аппараты особой формы: их высота должна превосходить диаметр не менее чем в три раза.

Итак, для разрушения пены, ухудшающей качество готовой продукции и усложняющей ход многих технологических процессов, разработаны десятки различных способов пеногашения и сотни промышленных аппаратов и устройств. Выбор того или иного способа гашения определяется стойкостью пены, требованиями к технологии, качеству и экономическим показателям готового продукта.

ОСТАЕТСЯ МНОГО ТАЙН И ВОЗМОЖНОСТЕЙ ДЛЯ ФАНТАЗИИ



НЕМНОГО ФАНТАЗИИ

В последние десятилетия во всем мире возводятся здания, для которых не нужен кирпич, цемент, железобетон, металл, древесина. Это так называемые пневмоконструкции. Стены и кровля в таких зданиях выполнены из воздухонепроницаемых тканей и пленок, несущим элементом в них служит сжатый воздух.

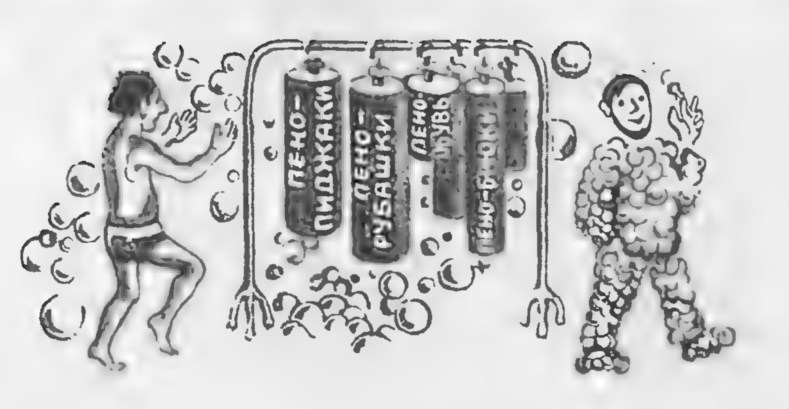
Оболочка, наполненная воздухом, может воспринять большие нагрузки; примеров тому множество; самый яркий и повседневный – шины автомобилей. С помощью сжатого воздуха изготавливают надувные колонны или арки, и они поддерживают здание из прорезиненной ткани, обеспечивая ему необходимую прочность и устойчивость. А можно «строить» такие здания и без колонн. Достаточно только надуть оболочку и обеспечить герметичность сооружения. В таком ангаре, складе, спортивном помещении или временном кинозале поддерживают небольшое избыточное давление – на несколько тысячных долей атмосферы выше наружного (напомним, что в мыльных пузырьках – своеобразных пневмоконструкциях – давление газа тоже всегда больше, чем в окружающей среде). Необходимо только герметизировать вход и выход, для этого устраиваются тамбуры. Неизбежные небольшие потери внутреннего давления восполняются с помощью компрессора. Надувные павильоны возводятся за несколько часов и могут эксплуатироваться многие годы: в них экспонируются выставки, играют в теннис и бадминтон, хранят оборудование и материалы и даже размещают некоторые временные производства.

А почему бы не поступить иначе: сначала надуть воздухом двойную оболочку такого шатра, затем воздушное пространство между оболочками заполнить пеной из жидкого быстро твердеющего полимеризующегося материала. Возможен и другой вариант, он пригоден для Севера: пространство между оболочками заполнить пеной на водной основе. Получится замороженная пена, или пенолед. Затвердевшая или замороженная пена будет выполнять одновременно две функции: несущей конструкции и эффективного теплоизолятора. Так же как в жилищах из снега, именуемых иглу, которые строят эскимосы, в «пенных» гаражах, складах или помещениях для оборудования будет теплее, чем под открытым небом. Укрытия для буровых работ, помещения для ремонта техники при дорожном строительстве, гаражи для сельскохозяйственных машин, временные склады для хранения овощей и фруктов в поле, своеобразные «кемпинги» для лыжников и альпинистов и многое другое можно создать из пены.

ПЕНА ВМЕСТО ОДЕЖДЫ

Одежда верхняя и нижняя, мужская, женская и для самых маленьких, рабочая и праздничная, для туристов и космонавтов, для зимовщиков в Арктике и пастухов в полупустыне, современная и прошедших веков – огромное разнообразие форм и фасонов, материалов и расцветок. Одежда во все времена выполняла несколько функций: защищала от холода и зноя, от возможного воздействия окружающей среды, если речь идет о рабочей одежде, и, наконец, украшала своего владельца. Но у самой лучшей одежды есть недостатки: ее изготовление требует большого труда; одежда нуждается в постоянной стирке, чистке, ремонте; одежда, особенно теплая, делает человека неуклюжим, ограничивает его подвижность.

14-111



А почему бы не делать всю одежду из пены? Ведь пена может быть твердой и эластичной, теплоизолятором – шубой и проницаемой для пара, непрозрачной и цветной.

... Из аэрозольного баллона, на этикетке которого напечатана инструкция – технологическая карта, мы наносим на тело после утренней ванны белье, затем носки... Возле самых дверей таким же образом делаем головной убор.

Одевание на принципах самообслуживания ликвидирует химчистки и ателье, не будет нужды пришивать пуговицы, оторванные в троллейбусе.

НА РАДОСТЬ АВТОЛЮБИТЕЛЯМ

С наступлением осенних заморозков у «безгаражных» владельцев личных автомашин возникает много забот, связанных с зимовкой четырехколесного друга. Держать полгода автомобиль на стоянке под брезентом или просто под открытым небом – не самый лучший вариант. А почему не поступить так же, как при защите грунта: накрыть машину пеной. Нужна, пожалуй, только одна дополнительная деталь – форма.

Автомашину надо накрыть пленкой, а затем – разборной коробкой из какого-нибудь легкого материала, например гидрофобизированной ДВП (древесноволокнистой плиты). Полость между пленкой и коробкой заполнить быстро твердеющей пеной из полиуретана. Коробку убрать, и гараж готов.

ВО ВСЕХ НАПРАВЛЕНИЯХ ПЛЫВЕТ ПЕНА

Мощные нефтепроводы протянулись во всех направлениях по нашей стране. Нефть Тюмени, Башкирии, Средней Волги и Каспийской низменности, Баку и Грозного поступает на нефтеперерабатывающие заводы, к причалам речных и морских портов, где ее ожидают танкеры; к нашим друзьям в социалистических странах нефть поступает по трубопроводам. По пути от скважин нефть несколько раз попадает в мощные насосы, которые поддерживают в трубопроводах необходимое давление. Иногда нефть подогревают. При таких операциях в нефти образуется пена, газовой фазой в которой служат летучие фракции самой нефти и растворенные в ней газы. Пена занимает часть объема, повышает трение и тем самым понижает пропускную способность трубопроводов. Снизить пенообразование в нефти – значит повысить «производительность» трубопроводов и сэкономить многие миллионы рублей. Это большая научно-техническая задача.

ТАК ЛИ БУДЕТ?

В овощеводческих хозяйствах для укрывания грунта часто пользуются черной пленкой с отверстиями. В отверстия сажают рассаду, а сорняки, лишенные света, погибают.

Представим себе теперь ровное вспаханное поле, по которому движется агрегат-сеятель (название ему еще не придумано). Ровной, тонкой полосой за ним тянется слой пены, которая немедленно затвердевает. В отверстия, прокалываемые в пене посевным агрегатом, вкладываются и заделываются на необходимую глубину зерна. При орошении засеянной площади дождевальными аппаратами вода скатывается только в эти отверстия. Полноценный рост растений возможен только в этих спланированных выемках. А семена сорняков обречены на гибель: они лишены света, тепла и влаги. При сборе урожая пену разрушат, и она будет служить удобрением для урожая следующего года.

ПЕНА И ЭКОНОМИЯ ЭНЕРГИИ

Один из путей экономии энергии – полное сжигание топлива с максимальным использованием его теплотворной способности. Горение происходит на границе раздела частица топлива – воздух, а для жидкого топлива, например мазута – на границе капля – воздух. Чем больше поверхность раздела, тем полнее сгорает топливо. Поэтому перед сжиганием очень важно его диспергировать. А если горючую жидкость превратить в пену? Тогда поверхность станет огромной. В качестве жидкости – мазут или керосин, а в качестве газа – метан, воздух или их смесь. Принципиально получение пены из керосина или бензина не представляет проблемы, ведь бензин – это смесь углеводородов с различными температурами кипения. О способности такой смеси вспениваться мы уже говорили.

О том, что сжигание жидких топлив в пенном, эмульсионном или аэрозольном состоянии эффективно и экономически целесообразно, нет нужды говорить. Ныне на всех крупных тепловых установках обводненный мазут (40-50% воды) сжигают в виде эмульсий; при горении такой дисперсии не видно дыма. Отсутствие дыма признак полного сгорания. Топливную эмульсию уже используют. Теперь дело за топливной пеной.

Другой путь ощутимой экономии энергии – это дополнительное утепление ранее построенных зданий с недостаточной теплоизоляцией. Берем на себя смелость утверждать, что разработчики новых эффективных теплоизоляционных материалов должны взять на «вооружение» прежде всего пену. Иначе затраты энергии на дополнительное утепление существующих зданий поглотят возможные выгоды. В мировой практике уже есть примеры такого решения при строительстве новых жилых и промышленных зданий.

Экономика сегодняшнего дня требует сокращения расхода материалов на стены, а энергетика настоятельно рекомендует уже сегодня искать пути сокращения расхода топлива на обогрев зданий. Два этих взаимоисключающих требования можно «примирить», используя в стеновых конструкциях зданий малотеплопроводную пену. Так, фирмой «Imperial Chemical Industries» получена пенополиуретановая теплоизоляция с фреоновым наполнителем, 1 м^2 которой при толщине 1,5 см и массе 0,5 кг эквивалентен по теплоизолирующим свойствам кирпичной стене толщиной 66 см и массой 1200 кг.

ГЛУБОКИЕ И СВЕРХГЛУБОКИЕ СКВАЖИНЫ

В поисках нефти, газа и других полезных ископаемых человек проникает все глубже в земную твердь. Успешно идут работы по проходке сверхглубокой (до 15 км) скважины на Кольском полуострове; аналогичная работа осуществляется и в США. С помощью таких скважин мы лучше узнаем строение земной коры.

Но на каждые 100 м глубины температура земной коры повышается на 3 градуса и, следовательно, на глубине 7 км она составит уже около 200°С. О применении воды в качестве промывочной жидкости, выносящей разбуренную породу и охлаждающей буровой инструмент, не может быть и речи. Очень велико и гидростатическое давление – давление столба жидкости – в пробуренной скважине. Не окажется ли в этом случае подходящим средством пена? Но, конечно, полученная из неводных растворов. Легко подобрать раствор, пена из которого не будет закипать и интенсивно испаряться при температуре 200°С. Что же касается гидростатического давления, то для пены оно будет в 30–50 раз ниже, чем для столба водной промывочной жидкости.

Возможно, здесь уместно напомнить об известном парадоксе – охлаждении кипящей водой. В металлургии используют такой метод охлаждения плавильных агрегатов. Он основан на том, что теплота испарения для воды в несколько сот раз больше, чем теплота нагревания. Если для нагревания 1 кг воды на один градус необходимо 4,19 кДж теплоты, то на испарение такого же количества воды при температуре кипения – примерно 2682 кДж. Если применять в качестве охлаждающей среды пену, то за счет ее большой поверхности будет происходить интенсивное испарение жидкости из нее, и температура стенок агрегатов будет быстро понижаться.

ПОПОЛАМ С ФАНТАЗИЕЙ

На страницах печати, в интервью и пресс-конференциях все чаще обсуждаются глобальные фантастические и полуреальные проекты: изменить направление теплых течений Гольфстрим и Куросиво, перегородить Берингов пролив, повернуть на юг реки, текущие на север, и многое, многое другое. Это, по мнению ученых, позволит изменить климат земли, решить многие сельскохозяйственные проблемы, обеспечить человечество в достаточном количестве пресной водой.

Объект наших фантазий – пена, делающая соленую воду пресной; проблема, решаемая с помощью пены-опреснителя, глобальна и в перспективе совершенно реально выполнима.

Читатель уже знает, что из чистой воды можно получить только очень недолговечные пены. А вот пены из морской воды живут дольше; в воде морей и океанов есть поверхностно-активные вещества (напомним, что они образуются в результате жизнедеятельности микроорганизмов и водорослей, обитающих в воде). Исследования морской пены показали, что в жидкости пены концентрация солей значительно выше, чем в морской воде. Это очень важные для наших рассуждений данные, из которых невольно напрашивается сразу два вывода.

1. Нельзя ли получить таким «вспениванием» чистую воду? Ответ однозначный: можно получить пресную воду из морской путем вспенивания, но экономически это пока невыгодно. Кстати, появился уже ряд специальных публикаций по опреснению морской воды вспениванием. Это и не удивительно. Потребность в хорошей пресной воде на Земле непрерывно растет. Судя по туманным формулировкам зарубежных патентов, опреснение вспениванием осуществляется при добавке пенообразователей. Известно, что пена позволяет извлечь из воды практически все растворенные в ней ПАВ. На этом основана очистка воды от ПАВ. Но пена над растворами, в которых присутствуют одновременно ПАВ и электролиты, содержит и повышенное количество солей. Таким образом, из морской воды можно одновременно удалять и ПАВ, и соли.

2. Соли, извлеченные из морской воды, представляют самостоятельную ценность. Но получать их слишком дорого. Найдет применение и органическая часть пены из

морской воды. Исследования наших и зарубежных ученых показали, что в морской пене содержатся весьма интересные биологически активные вещества, обладающие многими полезными свойствами, в том числе и лечебными. Но главным при этом остается пресная вода.

Достаточно взглянуть на карту мира, чтобы увидеть желтые пятна пустынь почти рядом с морским побережьем. Представим себе устройства, в которых вода будет вспениваться за счет сил прибоя и приливов. После вспенивания – пресная вода. От такой воды оживут пустыни.

В СВОЮ ТАРУ

Почти ежедневно мы совершаем покупки, которые любезный продавец тщательно заворачивает в бумажную упаковку. Торговля с ее кульками, пакетами, коробками – это очень емкая область потребления бумаги. Для изготовления бумаги и картона рубят лес. Отсюда парадокс: «друзья книги – враги леса».

Специалисты утверждают, что на каждый килограмм продуктов в продовольственных магазинах необходимо до 0,2 кг упаковочных материалов, и в первую очередь бумаги.

Но упаковка может быть не только бумажной. Все чаще используют полимерные пленки, например полиэтиленовые или комбинированные, многослойные. В этом случае уже расходуется нефть, служащая сырьем для [illegible] почти всех полимеров.

Но ведь можно представить себе и другую картину: отрезанный и взвешенный кусок мяса или колбасы бросают в небольшой ящик, в котором он мгновенно обволакивается твердеющей пеной из совершенно безопасного вещества. Столь же безопасной краской на покупку наносится указатель веса и стоимости. Дома покупателю достаточно одного движения руки, чтобы снять упаковку.

ОХОТНИКАМ, ГЕОЛОГАМ, ОЛЕНЕВОДАМ

Уже много лет на страницах газет ведут полемику о том, каким должно быть временное жилье кочующего оленевода и пастуха на дальних отгонных пастбищах. Жилье на одну ночь бывает необходимо одинокому охотнику или геологу, оказавшемуся в тайге.

Традиционные юрты, чумы, палатки нужно возить или носить с собой. Хотя эти виды временного жилья и испытаны поколениями, замена оленьей шкуры, кошмы или брезента на синтетический тканый или нетканый материал не очень существенно изменяет принципы возведения и использования такого жилья.

Летом 1980 года по телевидению демонстрировался способ герметизации кузова автомобиля с помощью быстротвердеющей пены из полиуретана. За несколько минут стыки, щели в стенках и днище кузова оказывались покрытыми слоем твердой пены. А почему бы не носить путешественнику и геологу с собой килограммовый флакон, содержащий жидкое вещество для создания пенного одеяла. Лег охотник на надувной матрац, нажал клапан на флаконе, и над ним вырос холм из пены. Такое пенное жилище утром легко уничтожить...

ПЕНЫ, КОТОРЫХ ЕЩЕ НЕ ЗНАЛИ

Сейчас приобретают все бо́льшую известность материалы, называемые синтактическими пенами, которые, строго говоря, не соответствуют классическому определению пены; однако именно под таким названием они по-

лучили распространение в различных областях промышленности во всем мире. Синтактические пены (называемые также синтактик-пены) представляют собой композиционные материалы, состоящие из микрокапсул (микросфер) – полых маленьких шариков из стекла, керамики, полимеров, связанных различными синтетическими смолами. Синтактик-пены отличаются высокой прочностью, небольшой объемной массой, прекрасными водоотталкивающими и теплозащитными свойствами. Эти материалы особенно успешно используют, в частности, в Японии и США для разработки и создания глубоководных судов. Высокопрочная синтактическая пена, «работающая» как плавучий материал, представляет собой микроскопические полые стеклянные шарики диаметром 10–250 мкм с толщиной стенок 2–3 мкм и плотностью 0,25–0,35 г/см^3, связанные эпоксидной смолой. Такая пена в три-четыре раза легче воды.

В синтактик-пенах очень важно равномерно распределить микробаллоны в смоле, ибо от этого зависят многие свойства готового материала. Кроме того, стремятся максимально наполнить связку полыми шариками: чем больше микробаллонов в связке, тем легче и дешевле изделия из синтактической пены. Разработаны специальные способы получения однородных синтактических пен – в частности, способы вакуумного заполнения и вакуумного смешения. Для глубоководных судов в качестве связки употребляют преимущественно эпоксидные смолы, а для мелководных – более дешевые полиэфирные и фенолоформальдегидные смолы.

Синтактик-пены используются также в конструкциях вертикальных трубопроводов при добыче нефти с морского дна и в конструкциях глубоководных буев. Они все шире внедряются в самолетостроении и в электротехнической промышленности. Сейчас их начинают применять даже для производства предметов домашнего обихода: микробаллонами наполняют различные виды пластмасс; в производстве легких строительных конструкций пустотелые стеклянные шарики вводят в керамику или в алюминиевые сплавы.

ВМЕСТО ЗАКЛЮЧЕНИЯ

Ученый, сообщающий о новых исследованиях мыльных пузырьков, может легко оказаться добычей фельетониста, а кандидат наук, «родившийся из пены», или «пенный доктор наук» – разве не заманчивая тема для юмористического рассказа? Пренебрегая такой опасностью, серьезные кандидаты наук, весьма уважаемые доктора и всемирно известные академики нашей страны и не менее авторитетные ученые на разных континентах продолжают изучать мыльный пузырь.

В 1976 году в Москве состоялся VII Международный конгресс по поверхностно-активным веществам. Более тысячи ученых из многих стран обсуждали насущные проблемы производства поверхностно-активных веществ, расширения сырьевой базы для их изготовления, получения пен, пеногашения и разложения ПАВ и др.

Через три года, в 1979 году, была проведена Вторая всесоюзная конференция на тему «Пены, их получение и применение». Сотни советских специалистов, собравшиеся во Всесоюзном научно-исследовательском и проектном институте поверхностно-активных веществ в г. Шебекино, решали вопросы теории пенообразования, создания стабильных пен, оценивали новые способы разрушения пен, обменивались опытом использования пен для разработки разнообразных традиционных и новых технологических процессов, намечали перспективные пути применения пены, пеноматериалов и пенных процессов. Исследования мыльного пузырька продолжаются...

Если читатель заинтересовался темой нашей книги, обратим его внимание на некоторые допущения, положенные в основу объяснений.

1. Предполагается, что одна из главных причин изменения дисперсности пен обусловлена диффузией воздуха (газа) из малой ячейки пены в более крупную, что пена состоит из многогранников и что наиболее вероятная их форма – пятиугольные додекаэдры. Принимают также, что пятиугольные додекаэдры обеспечивают максимально плотную упаковку лишь при полном равенстве размеров всех двенадцати пятиугольников каждого пузырька и всех пузырьков между собой. Но... известно, что стенки многогранников – плоские, и диффузия за счет разницы давлений с двух сторон плоской пленки маловероятна. Следовательно, чтобы объяснить изменение дисперсности пены диффузией воздуха, нужны серьезные подтверждения.

2. Принято считать, что одна из главных причин разрушения пены – испарение жидкости из пленок. Но ..., рассматривая процесс уменьшения толщины пленок (стенок) пены, исходят из модели, которая исключает наличие жидкости на наружных поверхностях. А испарение? Еще в школе мы твердо усвоили, что «испарение – это процесс поверхностный».

Мы не будем продолжать этот перечень принятых допущений. Как видите сами, в основах теории строения и устойчивости пен места для сомнений не меньше, чем для категорических утверждений. А значит, и проблем остается достаточно.

ВМЕСТО СПИСКА ЛИТЕРАТУРЫ

По установившейся традиции в конце книги и журнальной статьи помещают список литературы, в которой можно найти дополнительные сведения по тем или иным разделам темы. В этом отношении наша задача решается предельно просто. Мы назовем еще раз только две, но очень обстоятельные и сравнительно новые книги: В. К. Тихомиров. Пены. Теория и практика их получения и разрушения (М., Химия, 1983). Небольшая книга содержит новейшую информацию по всем вопросам, перечисленным в названии, обширный список литературы, включающий более 650 оригинальных работ, монографий, патентов. Вторая «молодая» книга, тоже уже упоминавшаяся, принадлежит перу докторов химических наук П. М. Круглякова и Ю. Г. Ровина – это «Физикохимия черных углеводородных пленок» (М., «Наука», 1978).

Адольф Петрович Меркин

Петр Рейнгольдович Таубе

НЕПРОЧНОЕ ЧУДО

Редактор Г. Н. ГОСТЕЕВА
Художественный редактор Н. В. НОСОВ
Технический редактор О. В. ТЮРИНА
Корректор Н. А. ИВАНОВА

ИБ № 607

Сдано в наб. 09.02.83. Подп. к печ. 14.09.83. Т. 19024.
Формат бумаги 70 × 100$^1/_{32}$.
Бумага типографская № 2.
Гарнитура таймс.
Печать офсетная.
Усл. печ. л. 9,03. Усл. кр.-отт. 18,54.
Уч.-изд. л. 9,90.
Тираж 100000 экз.
Заказ № 111. Цена 35 к. Изд. № 1732.

Ордена «Знак Почета» издательство «Химия».
107006, Москва, Стромынка, 13.

Можайский полиграфкомбинат
Союзполиграфпрома
при Государственном Комитете СССР
по делам издательств, полиграфии и книжной торговли
г. Можайск, ул. Мира, 93